



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

**ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO
PROSTŘEDÍ**

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

**PLASTY A MIKROPLASTY A JEJICH VLIV NA BIOTU
EKOSYSTÉMŮ**

PLASTICS AND MICROPLASTICS AND THEIR INFLUENCE ON BIOTA OF ECOSYSTEMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ivana Románková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. MVDr. Helena Zlámalová Gargošová, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Číslo práce: FCH-BAK1264/2017
Ústav: Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí
Studentka: **Ivana Románková**
Studijní program: Chemie a chemické technologie
Studijní obor: Chemie a technologie ochrany životního prostředí
Vedoucí práce: **doc. MVDr. Helena Zlámalová Gargošová, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

Název bakalářské práce:

Plasty a mikroplasty a jejich vliv na biotu ekosystémů

Zadání bakalářské práce:

1. Vypracovat literární rešerši zaměřenou na problematiku plastů, zejména mikroplastů a jejich potenciálním negativním vlivem na organismy akvatického i terestrického ekosystému.
2. Na základě poznatků navrhnout baterii testů ekotoxicity a jejich modifikaci k posouzení ekotoxicity plastů ve vodním a půdním prostředí.

Termín odevzdání bakalářské práce: 21.5.2018

Bakalářská práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí bakalářské práce.

Ivana Románková
student(ka)

doc. MVDr. Helena Zlámalová
Gargošová, Ph.D.
vedoucí práce

doc. Ing. Jiří Kučerík, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Brně dne 31.1.2018

prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D.
děkan

ROMÁNEKOVÁ, I. *Plasty a mikroplasty a jejich vliv na biotu ekosystémů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2018. 31 s. Vedoucí bakalářské práce doc. MVDr. Helena Zlámalová Gargošová, Ph.D..

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu vypracovala samostatne a že všetky použité literárne zdroje som správne a úplne citovala. Bakalárska práca je z hľadiska obsahu majetkom Fakulty chemickej VUT v Brně a môže byť využitá ku komerčným účelom iba so súhlasom vedúceho bakalárskej práce a dekana FCH VUT.

.....
Podpis študenta

Pod'akovanie

Týmto by som chcela poďakovať predovšetkým *MVDr. Heleně Zlámalové Gargošové, Ph.D.* za trpezlivosť, cenné rady a ochotu a ďalším, ktorý mi pomohli k vypracovaniu tejto bakalárskej práce

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zaoberá vplyvom plastov a mikroplastov na životné prostredie. Cieľmi tejto práce je vypracovanie literárnej rešerše zameranej na problematiku plastov a to hlavne mikroplastov, a na ich negatívny vplyv na organizmy akvatického a terestriálneho ekosystému. Na základe získaných poznatkov navrhnúť batériu ekotoxikologických testov.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the influence of plastics and microplastics on the environment. The aims of this thesis is to work out a literature review focused on plastics with emphasis on microplastics and on their negative influence on aquatic and terrestrial ecosystem and organisms that are living there. Then on the basis of acquired knowledge, propose a battery of ecotoxicological tests.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Plasty, mikroplasty, akvatické ekosystémy, pôdne ekosystémy, ekotoxické testy

KEYWORDS

Plastics, microplastics, aquatic ecosystem, terrestrial ecosystem, tests of ecotoxicity

OBSAH

1 ÚVOD	1
2 TEORETICKÁ ČASŤ	2
2.1 Plasty	2
2.1.1 Charakteristika	2
2.1.2 História plastov	2
2.1.3 Výroba plastov	3
2.2 Základné druhy plastov	5
2.3 Plasty a životné prostredie	7
2.3.1 Výrobný cyklus	7
2.3.2 Spracovanie plastového odpadu	10
2.4 Mikroplasty	13
2.4.1 Charakteristika mikroplastov	13
2.5 Mikroplasty v životnom prostredí	14
2.5.1 Mikroplasty a akvatický ekosystém	14
2.5.2 Mikroplasty a pôdne ekosystémy	15
2.6 Bioplasty	16
2.6.1 Bioplasty verus Plasty	16
2.7 Rozklad bioplastov v rôznych prostrediach	17
2.8 Ekotoxicita	18
2.8.1 Ekotoxikologické testy	19
2.8.2 Skúmanie škodlivého dopadu plastov a mikroplastov na biotu akvatických ekosystémov	19
2.8.3 Skúmanie škodlivého dopadu plastov a mikroplastov na biotu pôdných ekosystémov	21
3 NÁVRH BATÉRIE TESTOV EKOTOXICITY PRE VODNÉ A PÔDNE EKOSYSTÉMY	23
3.1.1 Vodné ekosystémy	23
3.1.2 Pôdne ekosystémy	24
4 ZÁVER	25
5 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	26
6 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK	31

1 ÚVOD

Antropogénne vplyvy na systém Zeme dosiahli už úroveň porovnateľnú s prirodzenými geofyzikálnymi procesmi. V dôsledku toho sú ľudské aktivity jednou z najvýznamnejších hnacích síl funkcií ekosystémov a ohrozenia biodiverzity. Charakteristickým ukazovateľom sú plasty. Chemicky rozmanitá skupina materiálov na báze syntetických polymérov, ktoré sa každodenne používajú na mnohé účely. Ich ročná produkcia sa za posledných 40 rokov zvýšila asi 25-krát a v dnešnej dobe presahuje 380 miliónov ton.

V roku 2014 dosiahol dopyt plastov v Európe približne 47,8 miliónov ton z ktorých iba 54% bolo riadne spracovaných v odpadovom hospodárstve. Celosvetové údaje poukazujú na ešte horší stav, kde sa správnym spôsobom spracovalo iba 21 % plastového odpadu. Nespracovaný odpad sa potom dostáva do životného prostredia, kde má škodlivé účinky na ekosystémy. V štúdií zaoberajúcej sa plastovým odpadom bolo uvedené, že z vyprodukovaných 6300 milión ton plastového odpadu bolo 9 % recyklovaných, 12 % spálených a 79 % skončilo na skládkach alebo v životnom prostredí. Vplyvom biologických, chemických a fyzikálnych procesov sú plasty v prírode buď postupne degradované alebo fragmentované. Podľa získaných údajov z rôznych experimentov a štúdií sa plasty v prírode skôr fragmentujú ako degradujú a vytvárajú mikroplasty. Mikroplasty sa môžu do životného prostredia uvoľňovať aj priamo z výrobkov obsahujúcich mikroplasty (najčastejšie kozmetika). Ďalší rozpad mikroplastov vedie k tvorbe častíc označovaných ako nanoplasty. Aby plasty spadali do kategórie nanoplastov musia mať veľkosť menšiu ako 1 μm . Mikroplastické znečistenie možno označiť za jednu z najrozšírenejších a dlhotrvajúcich antropogénnych zmien na povrchu Zeme. Vedecká pozornosť na túto tému sa v posledných rokoch výrazne zvýšila, čo viedlo k pozoruhodným dôkazom o priamych či nepriamych škodlivých vplyvoch mikroplastov na zložky životného prostredia [1, 2].

2 TEORETICKÁ ČASŤ

2.1 Plasty

2.1.1 Charakteristika

Plast je všeobecný názov pre veľkú skupinu syntetických a semi-syntetických materiálov. Z chemického hľadiska sa za plasty považujú polyméry. V tejto oblasti je potreba upozorniť na to, že všetky plasty sú polyméry, ale nie všetky polyméry sú plasty.

Napriek tomu, že základným zložením mnohých plastov je uhlík a vodík, plasty môžu obsahovať aj iné prvky ako kyslík, chlór, fluór a dusík. Polyvinylchlorid (PVC) obsahuje chlór. Nylon obsahuje dusík, teflón fluór. Pri výrobe sa pridávajú rôzne aditíva na pozmenenie a upravenie niektorých chemických a fyzikálnych vlastností ako je pružnosť, odolnosť, tvarovateľnosť a farba. Samotný názov „Plasty“ značí schopnosť plasticity, čo znamená, že je možné plasty deformovať bez toho aby sa rozbili. Plasty spadajú do dvoch hlavných skupín a to - termoplasty a reaktoplasty.

Reaktoplasty alebo staršie termosety sú polyméry, ktoré po vychladnutí nie možné viac tvarovať a teda tuhnú do trvalého tvaru. Pri ich opätovnom zahriatí sa skôr rozložia, než sa roztavia. Do tejto skupiny patria plasty ako je bakelit, polyfenol, formaldehyd. Naopak termoplasty sa môžu opakovane zahriať a znova upraviť, vytvarovať. Táto vlastnosť umožňuje jednoduché spracovanie a uľahčuje recykláciu. Medzi termoplasty spadá napríklad celuloid.

Samotné vlastnosti plastu závisia od jeho zloženia, od druhu a usporiadania monomérov a od druhu pridaných aditív. Plasty sú zvyčajne pevné a ľahké, môžu mať amorfný, polokryštalický alebo kryštalický charakter. Elektrinu a teplo vedú zle a preto sa využívajú ako izolátory [3, 4].

2.1.2 História plastov

História plastov je plná veľkých vynálezov, ale ten najdôležitejší urobil britský chemik Alexander Parkes, ktorému sa v roku 1855 podarilo vyrobiť poly-syntetický plast, tak že rozpustil dusičnan celulózy v alkohole zmiešaného s éterom. Tento materiál, po tom ako bol zahriaty mohol byť modelovaný a neskôr po opätovnom zahriatí nadobudol pôvodný tvar. Svetu bol prvý krát predstavený v roku 1862 a výstave v Londýne [5].

John Wesley Hyatt vynášiel materiál nazývaný celuloid a to v roku 1869, kedy bola vyhlásená súťaž o 10 000 dolárov za objav nového materiálu, ktorým by sa dali nahradiť železné gule na biliard. Celuloid vyrobený reakciou nitrocelulózy s gáfrom, sa stal lacnou a trvalou náhradou pre mnohé materiály ako slonovina, mramor, perlu a iné prírodné materiály a je považovaný za prvý termoplast [6].

Plast vyrobený z fenolu a formaldehydu, nazývaný bakelit bol ďalším zo syntetických materiálov. Bol pomenovaný po svojom vynálezcovi, chemikovi Leovi Hendrikovi Baeklandu, ktorý ho vyrobil v roku 1907. Keď už bol tento materiál vytvorený, nemohol byť znovu roztopený. Vďaka jeho vlastnostiam bol bakelit využitý najmä v rýchlo rozvíjajúcom sa automobilovom a rádiovom priemysle ako elektrický izolátor [7].

Polyvinyl chlorid (PVC), je dnes tretím najviac vyrábaným plastom, bol objavený už v roku 1835 Henrim V. Regnaultom a potom opäť v roku 1872 Eugenom Baumannom. Týmto objavom však nikto nevenoval pozornosť pravdepodobne kvôli ťažkostiam s manipuláciou s materiálom.

Zmena nastala v roku 1913 keď si nemecký chemik Friedrich H. A. Klatte zaregistroval prvý patent na výrobu PVC polymerizáciou vinylchloridu použitím slnečného žiarenia. Klatte neskôr opísal aj použitie peroxidov ako katalyzátorov polymerizácie: do monoméru bolo pridané malé množstvo peroxidu. Kvapalina sa postupne zahusťovala, až kým sa nestala vysoko viskóznou a následne bola vystavená slnečnému žiareniu, až kým nestvrdla. Ako náhle kvapalina stvrdla, sklenená miska v ktorej sa nachádzala, bola rozbitá a tuhá hmota bola rozlámaná na malé kúsky, ktoré sa potom rozpustili v zmesi ketónov a benzínu [8].

Výroba a využívanie plastov nebolo rozšírené až do prvej svetovej vojny a to vďaka rope, ako náhrade za uhlie, pretože bola ľahšie spracovateľná. Počas druhej svetovej vojny naliehavá potreba vojenských dodávok prinútila priemysel vyvinúť nové materiály a ich proces výroby. Mnoho z týchto materiálov našlo uplatnenie v povojnovom období v čase mieru. Sklolaminát vyvinutý pre radarové puzdrá, bol použitý aj na výrobu člnov. Preglejka, ktorá tvorila zakrivené krídla a trupy lietadiel, bola tvarovaná do nábytku. V 40. a 50. rokoch sa plasty rozmohli medzi obyvateľstvo a bolo čím ďalej jasnejšie, že rýchlo nahradia prírodné materiály ako drevo, bambus, kameň či dokonca aj materiály ako je sklo a kovy. Hlavným dôvodom bola ľahká spracovateľnosť materiálu, ľahšia výroba produktov a taktiež dostupnejšia cena. Plasty sa postupne stali nevyhnutnou súčasťou každodenného života. Od najbežnejších vecí ako obaly v obchode, cez rámy okuliarov až po náhradné kĺby v medicíne. A takto sa začala takzvaná doba plastová [9, 11].

2.1.3 Výroba plastov

Ropa a zemný plyn sú hlavnými surovinami používanými pri výrobe plastov. Výrobný proces plastov sa často začína úpravou zložiek ropy alebo zemného plynu v procese zvaného krakovanie. Tento proces vedie k premene týchto zložiek na uhlíkovodíkové monoméry, ako je etylén a propylén. Ďalšie spracovanie vedie k širšiemu rozsahu monomérov ako je styren, vinylchlorid, etylénglykol a mnohé ďalšie. Tieto monoméry sa potom chemicky viažu do reťazcov zvaných polyméry. Polyméry sú chemické látky, ktoré kvôli svojim veľkým molekulám vykazujú neobvykle širokú škálu vlastností. Polyméry sa delia do dvoch skupín a to elastoméry a plasty. Polyméry sa pripravujú v chemickom procese zvanom polymerizácia.

Polymerizácia je reťazová chemická reakcia, pri ktorej sa molekuly monoméru (nízko molekulárne zlúčeniny) spojujú a mnohonásobným opakovaním tohto procesu vytvárajú polymér (makromolekulárnu látku). Podľa počtu miest schopných vytvárať kovalentnú väzbu, tiež zvanú funkčné miesta, rozdeľujeme polyméry na lineárne, rozvetvené alebo priestorové. V prípade, že polymér obsahuje iba dve miesta schopné vytvárať túto väzbu, vznikajú polyméry lineárne. Pri väčšom počte funkčných miest môžu vznikáť buď polyméry rozvetvené alebo priestorové. Základná stavebná jednotka (monomér) charakterizuje chemickú štruktúru polyméru, ktorá má potom zásadný vplyv na jeho fyzikálne, mechanické a chemické vlastnosti [10, 11].

2.1.3.1 6\Q W p]D S R O\ P p U R Y

Syntetické polyméry vznikajú troma základnými chemickými reakciami: polymerizácia, polykondenzácia a polyadícia.

Polymerizácia

Polymerizácia je reťazová reakcia, pri ktorej dochádza k spájaniu veľkého počtu molekúl jedného alebo dvoch rôznych monomérov do dlhého reťazca makromolekuly polymeru. Rýchlosť polymerizácie a veľkosť vznikajúcich makromolekul je daná rýchlosťou jednotlivých dejov, z ktorých sa proces polymerizácie skladá. Iniciácia (počiatok polymerizácie), propagácia (rast reakcie) a terminácia (ukončenie reakcie). Pre zahájenie polymerizácie je potrebné priviesť do systému potrebné množstvo energie (aktivačná energia).

Táto energia prevedie častice reagujúcej látky do aktívnej formy, v ktorej sú schopné príslušnej reakcie. Podľa druhu aktívnych miest rozdeľujeme polymerizáciu na radikálovú, iontovú a koordinačnú [10].

Polykondenzácia

Polykondenzácia je viacnásobná reakcia, pri ktorej reagujú aspoň dva rôzne monoméry, ktoré majú najmenej dve funkčné skupiny. Ako už bolo spomínané, druh vzniknutého polyméru (lineárny, rozvetvený alebo priestorový) závisí od počtu funkčných miest. Rozdiel medzi polymerizáciou a polykondenzáciou je ten, že produkt polymerizácie má také isté chemické zloženie ako pôvodná látka, z ktorej vznikol, zatiaľ čo produkt polykondenzácie (polykondenzát) má chemické zloženie iné ako látky, z ktorých vznikol a vzniká pri nej aj vedľajší produkt. Priebeh polykondenzácie je zväčšej časti totožný s polymerizáciou. Terminácia tejto reakcie môže byť spôsobená významným znížením koncentrácie funkčných miest [10].

Polyadícia

Polyadícia je reakcia medzi zlúčeninami obsahujúcimi násobné väzby, poprípade zlúčeninami ktoré sú tvorené kruhmi s malým počtom členov a zlúčeninami, ktorých molekuly obsahujú vhodné funkčné skupiny. Ak sú tieto skupiny aspoň dve, môže mnohonásobnou adíciou vzniknúť polymér. Štruktúra základného článku vzniknutého polyméru je rozdielna od štruktúry vychádzajúcich látok [10].

2.1.3.2 9êURED SRO\pURY

Výroba polymérov z monomérov je exotermická reakcia. Pri týchto reakciách vzniká problém ohľadne odvodu uvoľneného tepla z reakčnej zmesi. Priemyselne sa monoméry vyrábajú niekoľkými spôsobmi. Chemicky najjednoduchším je polymerizácia monomeru. Celkovo sa používajú štyri druhy polymerizácií.

Bloková polymerizácia

Táto polymerizácia sa využíva, ak je polymér v monomére rozpustný. V tom prípade vzniká v priebehu polymerácie stále viskóznejší roztok, ktorý nakoniec stuhne do bloku a zaujme tvar reakčnej nádoby. Nevýhodou je zložitý odvod tepla. Polymerizácia je všeobecne sprevádzaná zmenšovaním objemu. Preto sa týmto spôsobom polymerizujú výrobky, ktorých produkty majú tenký rozmer. Výhodou tohto procesu je vysoká čistota vytvoreného polyméru ako napríklad PS (polystyrén) a PMMA (polymetylmetakrylát) [10, 12].

Roztoková polymerizácia

Polymerizácia je využívaná v prípade, že vznikajúci polymér v počiatočnom monomére rozpustný nie je. Pre vznik roztoku polyméru je potrebné pridať vhodné rozpúšťadlo. V tomto procese sa reakčné teplo odvádza jednoduchšie ako v prípade predchádzajúcom a to vďaka použitému rozpúšťadlu. Použitie rozpúšťadla má však aj záporné stránky - ekonomickú (cena rozpúšťadla a náklady na jeho odstránenie zo zmesi), environmentálnu (možné vplyvy používaných organických rozpúšťadiel na životné prostredie) ale aj zníženie rýchlosti polymerizačnej reakcie v dôsledku zriedenia zmesi. Výsledný produkt bude mať vždy nižšiu molárnu hmotnosť než pri blokovej polymerizácii. Roztoková polymerizácia sa využíva pri výrobe napríklad vinyl-acetátu alebo esterov kyseliny akrylovej [10, 12].

Suspenzná polymerizácia

Suspenzná polymerizácia je proces, ktorý prebieha v heterogénnom prostredí. Monomér obsahujúci rozpustený iniciátor je dispergovaný v kvapaline s ktorou sa nemiesi, napríklad voda. Veľkosť dispergovaných kvapiek je určená teplotou a rýchlosťou miešania. Každá z kvapiek sa stáva miniaturným reaktorom, v ktorom prebieha polymerizácia. Pričom každá zo vzniknutých kvapiek je zvonku chladená vodným prostredím a teda je zabezpečený dobrý odvod reakčného tepla. Viskozita kvapaliny počas reakcie stúpa a tým hrozí aglomerácia kvapiek a zlepovanie polymérnych častíc. Tomu sa zabráňuje pridávaním stabilizátorov dvoch druhov. Stabilizátory rozpustné vo vode ako je polyvinylalkohol alebo stabilizátory vo vode nerozpustné, jemne práškovité anorganické zlúčeniny BaSO_4 , $\text{Al}(\text{OH})_3$. Nevýhodou tejto polymerizácie je kontaminácia vzniknutého polyméru použitými prísadami. Týmto spôsobom sa vyrába napríklad PVC [10, 12].

Emulzná polymerácia

Pri emulznej polymerizácii, sa podobne ako v predchádzajúcom prípade polymerizácií suspenznej, využíva voda ako disperzné médium a tak sa umožňuje účinný odvod reakčného tepla. Týmto sa však podobnosť končí. U emulznej polymerizácií je nerozpustný monomér dispergovaný vo vodnej fáze emulgátorom a pri polymerizácii sa mení na jedinú makromolekulu polyméru. Týmto je zaručená možnosť prechodu do vysokej molekulovej hmotnosti. Touto polymerizáciou sa vyrábajú polyméry butadienu alebo polyvinylacetátu [10, 12].

2.2 Základné druhy plastov

PETE

Polyetyléntetraftalát (PET alebo PETE) je číry, pevný plast, ktorý má dobré bariérové vlastnosti proti plynom a vlhkosti, čo ho robí ideálnym materiálom pre výrobu fliaš na sýtené nápoje a iné nádoby na potraviny. Skutočnosť, že má vysokú odolnosť voči teplote umožňuje, jeho využitie na výrobu nádob pre udržanie teploty uvarených jedál. Jeho tepelná a mikrovlnná odolnosť z neho robia ideálne ohrevné médium. Tiež ho možno nájsť aj v rozličnom komerčnom použití, ako sú vlákna na odevy a koberce, fľaše, nádoby na potraviny, pásy a technické plasty pre presne tvarované diely [4].

HDPE

Polyetylén s vysokou hustotou (HDPE) sa používa pri mnohých aplikáciách balenia, pretože poskytuje vynikajúce vlastnosti proti vlhkosti a chemickú odolnosť. Avšak využitie HDPE, rovnako ako všetkých druhov polyetylénu, je obmedzený na také obaly, ktoré nevyžadujú kyslíkovú alebo CO_2 bariéru.

Vo fóliovej forme sa používa v baleniach na občerstvenie, vo forme fľašiek pre mliečne a nesýtené nápoje. Vzhľadom na to, že HDPE má dobrú chemickú odolnosť, používa sa na balenie mnohých domácich a priemyselných chemikálií, ako sú čistiace prostriedky, bielinidlá a kyseliny [4].

LDPE

Polyetylén s nízkou hustotou (LDPE) sa prevažne používa vo filmovom priemysle vďaka svojej húževnatosti, pružnosti a priehľadnosti. LDPE má nízku teplotu topenia, čo ho robí populárne pre použitie v aplikáciách, kde je potrebné tepelné utesnenie. Zvyčajne sa LDPE používa na výrobu flexibilných fólií, ako sú tie, ktoré sa používajú ako obaly na oblečenie a obyčajné potravinové vrecká. Tiež sa využíva na výrobu niektorých flexibilných viečok a fliaš a je široko používaný v drôtených a káblových aplikáciách pre svoje stabilné elektrické vlastnosti a spracovateľný charakter [4].

PVC

Polyvinylchlorid (PVC) má vynikajúcu priehľadnosť, chemickú odolnosť, dlhodobú stabilitu, dobrú odolnosť voči vetru a stabilné elektrické vlastnosti. Vinylové výrobky môžu byť zhruba rozdelené na tuhé a pružné materiály. Tuhé aplikácie sú sústredené na stavebný trh, čo zahŕňa potrubia, obklady, pevné podlahy a okná. Úspech využitia PVC ako materiálu pre výrobu potrubí a armatúr možno pripísať jeho odolnosti voči väčšine chemikálií, odolnosti proti korózii a že neprepúšťa baktérie alebo mikroorganizmi. Flexibilný vinyl sa používa v drôtených a káblových plášťoch, izolácii, pružných podlahových krytinách, syntetických výrobkoch z kože, povlakoch, krvných vakoch a lekárskeho potrubia [4].

PP

Polypropylén (PP) má vynikajúcu chemickú odolnosť a bežne sa používa pri balení. Má vysoký bod tavenia, čo je ideálne pre horúce kvapaliny. Polypropylén sa nachádza v celej rade výrobkov. Od flexibilného a tuhého obalu, až po vlákna na tkaniny a koberce, veľké tvarované diely pre automobilový a spotrebný tovar. Podobne ako ostatné plasty má polypropylén vynikajúcu odolnosť voči vode, soľným a kyslým roztokom, ktoré sú deštruktívne pre kovy. Typické aplikácie zahŕňajú fľaše na kečup, nádoby na jogurt, fľaše na lieky a plášte automobilovej batérie [4].

PS

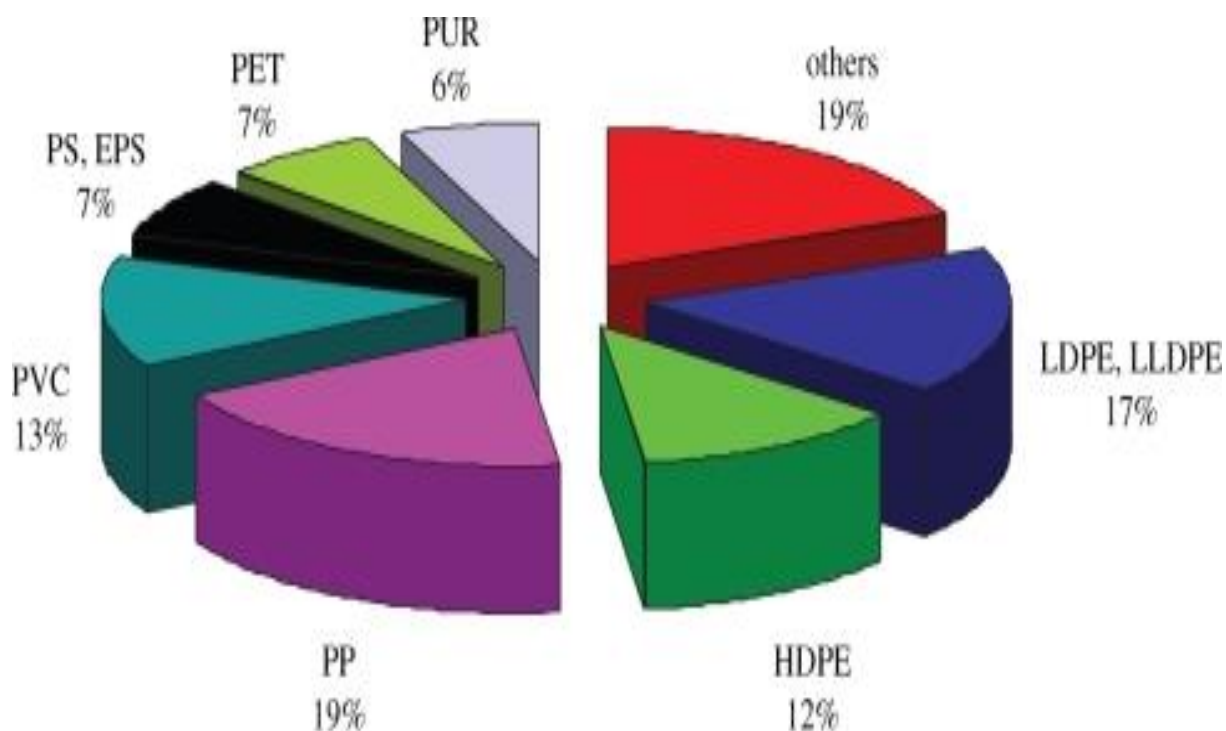
Polystyrén (PS) je všestranný plast, ktorý môže byť tuhý alebo penový. Polystyrén na všeobecné použitie je číry, tvrdý a krehký. Jasnosť tohto materiálu umožňuje jeho použitie v prípade, že je nutná transparentnosť ako v obaloch medicíny a potravín, v laboratórnych výrobkoch a pri určitých elektronických použitíach. Rozpínavý polystyrén (EPS) sa bežne vytláča do fólie, ktorá sa za tepla tvaruje do misiek na mäso, ryby a syry a do nádob ako sú prepravky na vajcia. EPS sa tiež priamo formuje do šálok a misiek pre suché potraviny, ako sú dehydrované polievky. Vyžívajú sa v reštauráciách pre ich ľahkosť, tuhosť a vynikajúcu tepelnú izoláciu [4].

PUR

Polyuretán (PUR) sa zaraďuje medzi technické plasty a vykazuje vysokú odolnosť voči opotrebovateľnosti, má dobrú nosnosť a dlhú životnosť. PUR je vynikajúci izolátor a nemá žiadne zdravie škodlivé vlastnosti. V prípade, že sa jedná o polyuretánovú penu pri vznietení uvoľňuje jedovaté plyny ako napr. kyanovodík alebo fosforové zlúčeniny.

PUR sa používa najmä v stavebníctve na výrobu izolačných dosiek [13].

V dnešnej dobe sú dostupné stovky druhov plastu. Napriek tomu len spomínaných sedem druhov sa kvalifikuje ako komoditné termoplasty, vzhľadom na ich vysoký objem a nízku cenu. Ako je možné vidieť na obrázku 1, týchto sedem plastov tvorí vyše 80 % celkovej spotreby.



Obrázok 1: procentuálne zastúpenie najviac využívaných plastov [16].

2.3 Plasty a životné prostredie

2.3.1 Výrobný cyklus

Plasty vplývajú na životné prostredie vo všetkých fázach svojho životného cyklu. Od ťažby ropy a zemného plynu cez výrobný proces až po nakladanie a spracovanie odpadu. Pri výrobe plastov je potrebné dodať veľké množstvo energie na destiláciu frakcií ropy alebo na krakovanie frakcií na čisté plastové materiály ako etylén. Veľkú energetickú náročnosť predstavuje topenie a modelovanie plastov. Pri výrobe sa uvoľňuje SO_2 , čo spôsobuje okyslenie atmosféry a teda prispieva k tvorbe kyslých dažďov. Kyslé dažde negatívne vplývajú na pôdu a jej vegetáciu a taktiež na vodné prostredie. Na konci životného cyklu sú plasty buď ukladané na skládky, recyklované alebo spálené. Konečným výsledkom je však stav, keď sa fosílnu uhľovodíky, z ktorých sú plasty vyrábané, transformujú na CO_2 a ten sa následne uvoľňuje do atmosféry. Odhaduje sa, že v dnešnej dobe, celosvetovo na jednu osobu pripadá 100 kg plastového odpadu ročne, z čoho väčšinou nie je viac ako 10 % recyklovaných. Z týchto údajov vychádza, že ročná produkcia CO_2 na človeka, je len z plastového odpadu 500-600 kg.

CO₂ patrí do skupiny skleníkových plynov, čo znamená, že ľahko prepúšťa slnečné žiarenie, ale tepelné žiarenie spätne odrazené z povrchu planéty účinne absorbuje a tým tak obráni jeho úniku do vyšších vrstiev atmosféry. V atmosfére sa teda zachytáva časť slnečnej energie, čo ma za následok zvýšenie priemernej teploty na Zemi [14, 15].

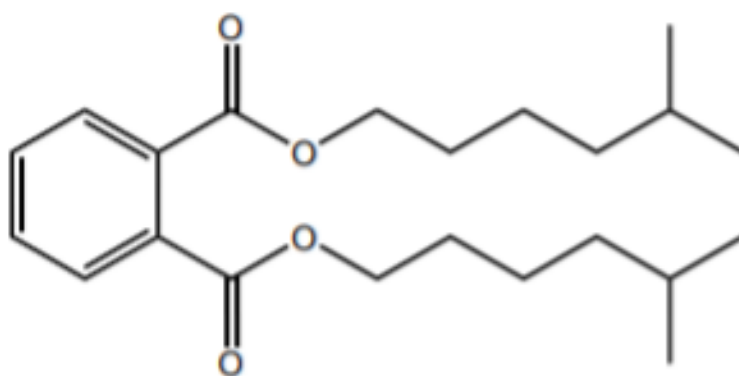
2.3.1.1 \$GLWYDY

Plasty sa len zriedkavo ponechávajú v čistej forme. Pre upravenie a vylepšenie ich vlastností sa pridávajú aditíva. Na spevnenie plastového materiálu sa používajú anorganické plnivá ako napríklad uhlík a oxid kremičitý. Tepelné stabilizátory zase umožňujú spracovanie plastov pri vysokých teplotách, ako aj ich odolnosť voči vysokým teplotám v období ich používania.

UV stabilizátory sa zase využívajú, aby sa zabránilo degradácii pri vystavení materiálu slnečnému žiareniu. Aditíva plastov sa zaraďujú medzi najnebezpečnejšie antropogénne látky zistené v životnom prostredí [16].

•

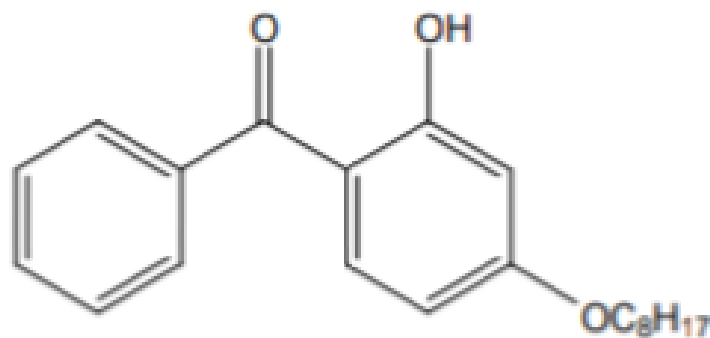
Zmäkčovadlo je zlúčenina pridávaná do polymérov aby boli pružné, odolné a jednoduchšie sa s nimi manipulovalo. Zmäkčovadlá sú hlavné zložky v plastoch, ktoré určujú fyzikálne vlastnosti polymérnych výrobkov. Sú to všeobecne stredne až vysokomolekulárne estery alifatických alebo aromatických karboxylových kyselín, niekedy aj kyseliny fosforečnej. Fosfátové estery sa často používajú aj pre ich vlastnosti spomaľujúce horenie. Ftaláty sú tiež veľmi časté, ale stále viac regulované pre ich vysoko toxické účinky. Napriek dnešným opatreniam prítomnosť ftalátov bola zistená vo vzduchu, v pitnej vode, v riekach, splaškových vodách, v pôde a dokonca aj v dažďovej vode. Ftaláty sa do životného prostredia dostávajú aj počas používania plastu, nielen počas jeho výroby. Životné prostredie kontaminujú napríklad oxidáciou počas používania a skladovania produktu. Ftaláty nie sú chemicky viazané na materiály použité vo výrobnom procese a preto ľahko migrujú na povrch vyrobeného produktu a odtiaľ do prostredia alebo priamo do živých organizmov. Jedna z najväčších skupín využívaných zmäkčovadiel sa nazýva Jayflex. Na obrázku 2 je uvedená štruktúra Jayflex 77 [17, 18].



Obrázok 2: štruktúra aditíva zvaného Jayflex 77 [17].

- **W**

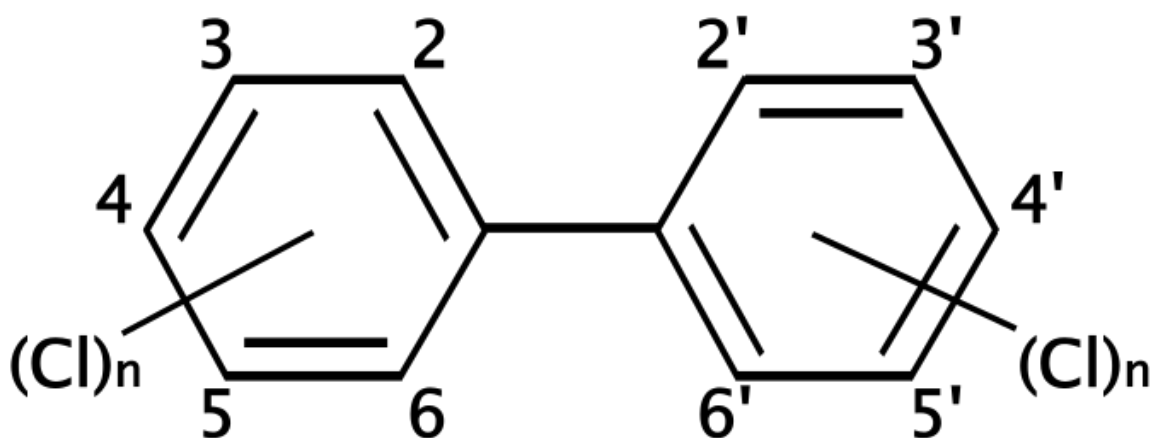
UV stabilizátory alebo absorbéry svetla sa používajú na ochranu plastu pred poškodením UV alebo slnečným svetlom, ako je zmena farby, praskanie, krehkosť alebo strata iných požadovaných fyzikálnych vlastností. Typickými UV stabilizátormi sú benzofenón a benzotriazol. Používajú sa aj salicylátové estery a kyanoakryláty, ale majú menšiu účinnosť. Benzofenón je tuhá, bezfarebná chemická látka charakteristického zápachu a jeho vzorec je uvedený na obr 3. Za bežných podmienok je stabilný. Je vysoko toxický pre vodné organizmy a môže spôsobiť dlhodobé škodlivé účinky vo vodnej zložke životného prostredia [17, 19].



Obrázok 3: štruktúra Uvinulu 3008 [17].

- **W**

Látky spomaľujúce proces horenia sa nazývajú retardéry horenia. Väčšina týchto retardérov, používaných v procese výroby plastov, sa z chemického hľadiska radí do skupiny perzistentných organických látok ako sú PCBs (polychlorované bifenyly), PBDE (polybromované difenylétery) alebo PBB (polybromované bifenyly). PCBs sú perzistentné chemické látky vznikajúce chloráciou bifenolov. I keď v porovnaní s mnohými inými organickými chemikáliami sú PCBs biologicky odbúrateľné len pomaly, stále degradácia prebieha. Po uvoľnení do životného prostredia PCBs majú tendenciu sa absorbovať na organické látky nachádzajúce sa v pôde a v sedimentoch. Ekotoxická PCBs spočíva najmä v ich už spomínanej schopnosti bioakumulácie, ktorá má za následky chronické účinky a nie priamu toxicitu. Na obrázku 4 je znázornený všeobecný štruktúrny vzorec PCBs [17, 20].



Obrázok 4: Všeobecný štruktúrny vzorec skupiny látok PCBs [21].

- 

Farbivá sú jednou z najväčších kategórií prísad do plastov, ktoré sa taktiež používajú aj v textilnom, potravinárskom a kozmetickom priemysle. Používajú sa na estetické účely, aj na zmenu fyzikálnych vlastností výrobku, ako je odpudzovanie svetla. Jedná sa o pigmenty anorganického alebo organického pôvodu. Veľa farbív má nepriaznivé zdravotné účinky a taktiež škodlivo pôsobia na životné prostredie [17].

2.3.2 Spracovanie plastového odpadu

Odvetvie spracovania plastového odpadu čelí mnohým výzvam. Je potrebné nájsť riešenie šetrné k životnému prostrediu a zároveň zohľadniť aj finančné hľadisko. Momentálne sú v popredí dva spôsoby nakladania s pevným plastovým odpadom (PPO). Plast je buď vyhodnený na skládku alebo recyklovaný. Uskladňovanie plastov na skládkach sa však ukazuje byť veľmi zlým riešením. V prvom rade skládky zaberajú veľké priestory, čo si s neustále zvyšujúcou sa populáciou nemôžeme už dovoliť. Ďalším problémom s ekologického hľadiska je, že plasty prítomné na skládkach môžu mať počas rozkladu toxické účinky na svoje prostredie a tým negatívne ovplyvniť zložky životného prostredia. Avšak najväčší problém predstavujú plasty, ktoré sa zo skládok dostanú do oceánov. Stačí silnejší dážď či vietor, nehovoriac o prírodných katastrofách ako záplavy, tsunami, víchrice alebo hurikány a plasty sa presunú zo skládok do vodného ekosystému. Presné množstvá plastov, ktoré sa takto dostali do vodných systémov sa nevie, no vypočítalo sa aspoň približné množstvo. Do úvahy sa vzala ročná produkcia plastového odpadu, množstvo recyklovaného plastu a iné faktory. Bolo vypočítané, že z 275 milióna ton plastového odpadu vzniknutého v roku 2010 v oceánoch skončilo 5 až 12 ton. Niektorí si môže povedať, že to nie je až tak veľa, v porovnaní množstva celkového odpadu, a však tieto hodnoty boli stanovené iba pre rok 2010 zo 192 pobrežných krajín a zamerali sa iba na plasty, ktoré skončili v oceánoch. Koľko plastov sa v skutočnosti nachádza vo vodných systémoch (sladkovodných aj slaných) po celom svete sa nevie. Ale aj napriek tomu je možné odhadnúť, že tieto množstvá sú obrovské a prítomnosť plastov vo vodných systémoch má negatívne vplyvy na biotu. Tieto vplyvy budú podrobnejšie rozobrané a zhodnotené v nasledujúcich kapitolách. Práve pre tieto negatívne dôsledky a nedostatok voľného miesta môžeme vyhodnotiť, že odkladanie plastov na skládky nie je vhodným spôsobom ako s daným odpadom nakladať, i keď momentálne je spôsobom najviac uplatňovaným [22, 23].

Ďalším zo spomínaných spôsobov nakladania s plastovým odpadom je recyklácia. Vo všeobecnosti platí názor, že recyklovať by sa mali jednotlivé frakcie plastov samostatne. Proces recyklácie, jej výhody a nevýhody budú následne podrobnejšie opísané. Zmiešaný a špinavý odpad predstavuje problém pri recyklácii. Z tohto dôvodu sa začali skúmať možnosti nakladania s týmto druhom odpadu. Práve takáto štúdia, zameriavajúca sa na rôzne scenáre pri nakladaní s odpadom, prebehla v Miláne pod vedením L. Rigamontiho [n]. Účelom tejto štúdie bolo nájsť ten najekologickejší spôsob nakladania so zmiešaným a znečisteným odpadom. Bolo vytvorených päť rôznych scenárov, kde v prvej simulácii označovanej P0 plast nebol vôbec triedený. V simuláciách 2 až 5 označovaných P1 až P4 sú už plasty do určitej miery triedené.

Scenár P0: plast nie je vôbec triedený ani len od ostatného surového odpadu. S odpadom sa zaobchádza ako so surovým odpadom a teda 90% odpadu ide do spaľovni na výrobu energie a 10% do mechanicko-biologickej spaľovne.

Scenár P1: skupina pozostávajúca iba z fľašiek (presnosť triedenia bola 80%). Fľaše sú rozdelené do dvoch skupín na PET a HDPE.

Scenár P2: odpad je roztriedený do viacerých skupín. K skupinám PET a HDPE sa ešte pridala skupina obsahujúca polyolefinové vlákna a plastové reziduá.

Scenár P3: v tejto skupine sú plasty zmiešané spolu s kovmi

Scenár P4: tu sú plasty oddelené od surového odpadu. Separovaný plast sa ďalej delí na PET a HDPE, ktoré sú ďalej recyklované a na plasty s vysokou výhrevnou energiou, ktoré sa následne posielajú do cementových pecí na spálenie.

Štúdia sa zamerala na to ako každá z týchto skupín ovplyvní sledované faktory životného prostredia. Sledovanými faktormi boli: globálne otepľovanie, okysľovanie, fotochemická tvorba troposférického ozónu a stenčovanie stratosférického ozónu.

Výsledkom testovacej skupiny P0 bolo obmedzenie škodlivých následkov pre všetky kategórie mimo globálneho otepľovania a najväčší úspech bol dosiahnutý v oblasti okysľovania. Skupiny P1 až P4 mali lepšie výsledky v oblasti ovplyvňovania globálneho otepľovania a však bol zistený vyšší dopad na úbytok stratosférického ozónu.

Po vyhodnotení údajov sa zhodli na tom, že žiaden s uvedených scenárov nemá ideálne výsledky a najlepšie dosiahla skupina P4 [24].

2.3.2.1 5HF\NOiFLD

Približne 50 % vyrobených plastov sú na jedno použitie, ako sú obaly, fólie a jednorazové spotrebné tovary. 20 až 25 % sa používa pre dlhodobé použitie, ako sú trúbky, káblové povlaky a konštrukčné materiály. Zvyšné plasty sa používajú na výrobu spotrebiteľských aplikácií ako je elektronický tovar, nábytok, automobily. V roku 2007 dosiahol plastový odpad 24,6 milióna ton. V roku 2016 bola ročná produkcia plastov až 322 milióna ton a z toho viac ako 60 % skončilo ako odpad. Spomínané jednorazové obaly sú hlavným zdrojom odpadu. Keďže plasty sú celosvetovo vyrábané približne iba posledných 60 až 70 rokov, dĺžka ich životného cyklu ešte nie je známa. Väčšina druhov plastov nie je biologicky odbúrateľná ale naopak sú extrémne odolné. Práve preto vedci dospeli k názoru, že vyrobené polyméry budú pretrvávajúť v prírode desiatky až stovky rokov. Dokonca i keď sa plast degraduje pod prírodnými vplyvmi, najskôr sa rozpadne len na menšie kúsky (už spomínané mikroplasty). Táto degradácia však nemusí prebehnúť a plasty sa zhromažďujú v značných množstvách na skládkach, čo vedie k otázkam už spomínaného odpadového hospodárstva a poškodeniu životného prostredia. Recyklácia je jednoznačne najlepšou stratégiou nakladania s odpadmi. Je to zároveň aj jedna z metód znižovania dopytu na vyčerpatelne zdroje. Opätovným používaním produktov, ktoré boli pôvodne len na jedno použitie (igelitka či PET fľaška) sa zníži spotreba energie a materiálov a opätovné používanie prispieva k šetreniu fosílnych palív, čo obmedzuje vylučovanie CO₂, SO₂ a NO_x zlúčenín do atmosféry. Plastové materiály je možné recyklovať rôznymi spôsobmi. Termoplasty vrátane PET, PE a PP môžu byť mechanicky recyklované zatiaľ čo termosety ako je polyester alebo epoxidová živica sa mechanicky recyklovať nemôžu. Je to zapríčinené spôsobom ich výroby, kedy sú termosety trvalo zosieťované a preto nemôžu byť opätovne roztavené a preformované. Spôsob recyklácie ovplyvňuje samotný druh plastu. Rôzne druhy plastu zároveň vo veľkej miere recykláciu aj komplikujú. Napríklad malé množstvo kontaminantu PVC prítomného pri recyklácii PET degraduje recyklované PET v dôsledku vývoja kyseliny chlorovodíkovej (plynná forma) z PVC. Tento proces vývoja kyseliny nastáva pri zvýšených teplotách potrebných na spracovanie PET. Naopak kontaminant PET pri recyklácii PVC vytvorí tuhé kusy nerozpustného kryštalického PET, čo výrazne znižuje hodnotu recyklovaného materiálu [25, 26].

3.1.1

Primárna recyklácia je opätovné použitie plastu za účelom výroby podobného materiálu. Tento proces využíva zošrotované kúsky plastov na výrobu nových materiálov. Dôležitým faktorom je triedenie plastu. Táto časť musí byť čo najúčinnnejšia a čo najrýchlejšia, najmä z finančných dôvodov. V prípade plastových fliaš, automatické triedenie síce existuje, no rôzne veľkosti, tvary a farby fliaš to veľmi komplikujú. Na triedenie plastov môže byť použitá aj separácia využívajúca triboelektrický jav, kde vzájomným trením dvoch predmetov, jeden získa pozitívny náboj a druhý negatívny (prípadne neutrálny).

Po nabití sa fľaše presunú do poľa s vysokým napätím a tam sú rozdelené podľa získaného náboja. Ďalším spôsobom separácie je technika rýchlostnej akcelerácie, kde rozdrvený odpad je rozdelený použitím vzduchu, sít a elektrostatiky.

Rozdelenie odpadu je tým najdôležitejším krokom v procese recyklácie a odfarbovanie plastov je najväčšou prekážkou recyklácie. Jeden zo spôsobov odstránenia farbív je obrúsenie, odstránenie pomocou rozpúšťadiel je tiež často používané. Farbu je možné odstrániť aj hydrolýzou v horúcej vode [25].

3.1.2

Táto recyklácia spočíva v spracovaní pevného plastového odpadu na opätovné využitie v mechanickej výrobe plastov. Jedným z najväčších problémom ktorému tento proces čelí je degradácia a heterogenita PPO, tie totiž ovplyvňujú kvalitu vzniknutého produktu. Mechanická recyklácia PPO sa môže uskutočniť len na plastoch z jedného druhu polyméru, napr. PP, PE, PS. Postup a jednotlivé kroky mechanickej recyklácie sa líšia podľa druhu spracovaného materiálu alebo podľa produktu, ktorý z tejto recyklácie vznikne. Prvý krok je však všade rovnaký a je v ňom potrebné plasty dostať do vhodnej formy (vločky, prášok, pelety), túto formu dosiahneme mletím, drvením, trhaním [26].

3.1.3

Pri tomto spôsobe sa využíva pokročilá technológia na premenu plastov do menších molekúl (tekutina alebo plyn), ktoré sa využívajú na výrobu nových plastov a petrochemikálií. Tento druh recyklácie sa preukázal byť veľmi užitočným pri výrobe palív a i keď tento proces je stále iba vo vývoji, v posledných rokoch je oň čoraz väčší záujem. Za svoj úspech vďačí depolymerizácií, kvôli ktorej je pomer produktov vyšší oproti odpadu. Ďalšou veľkou výhodou je, že je schopný i s minimálnou predbežnou úpravou spracovať heterogénne a kontaminované polyméry [26].

3.1.4

V niektorých článkoch a literatúrach je tento spôsob zbavovania sa odpadu označovaný ako energetická recyklácia. V tomto procese sa spaľujú plasty za účelom výroby energie vo forme tepla alebo elektriky, čo je možné vďaka vysokej výhrevnosti plastov v procese ich spaľovania. Tento spôsob nakladania s odpadom taktiež výrazne napomáha k redukcii zaberaného priestoru v prírode. Veľkou nevýhodou sú vznikajúce emisie unikajúce do atmosféry. V priebehu spaľovania plastov dochádza k pyrolýze (teplný rozklad), počas ktorej sa uvoľňujú horľavé plyny, ktoré sú následne spaľované. Konečnými produktami spaľovania PE, PP, PET sú oxid uhličitý a voda. Tieto produkty spaľovania vznikajú pri dokonalom spaľovaní v zariadeniach k tomu určených a ktoré splňujú emisné limity. Za podmienok spaľovania v domácnostiach dochádza k nedokonalému spaľovaniu a teda vznikajú aj produkty nedokonalého spaľovania.

Najcharakteristickejšie sú sadze, oxid uhoľnatý známy aj ako krvný jed a akrolein, silno dráždivá látka. Sadze obsahujú veľké množstvá polyaromatických uhl'ovodíkov (PAHs), ktoré sú toxické a pri ich dlhodobom vystavení vážne poškodzujú zdravie. Mnohé z nich majú aj karcinogénne účinky. V sadziach boli detekované aj iné nebezpečné látky ako (VOCs), (PCDFs). Spaľovanie plastov na vzduchu má za následok tvorbu plynov označovaných ako noxy (NO_x). Spaľovanie plastov neobsahujúcich chlór je menej komplikované a je ich možné pyrolyticky spracovať na kvapalné a plynne palivá. Štúdie ukázali, že najtoxickejšie spáleniny poskytuje PE a najviac sadzí PS.

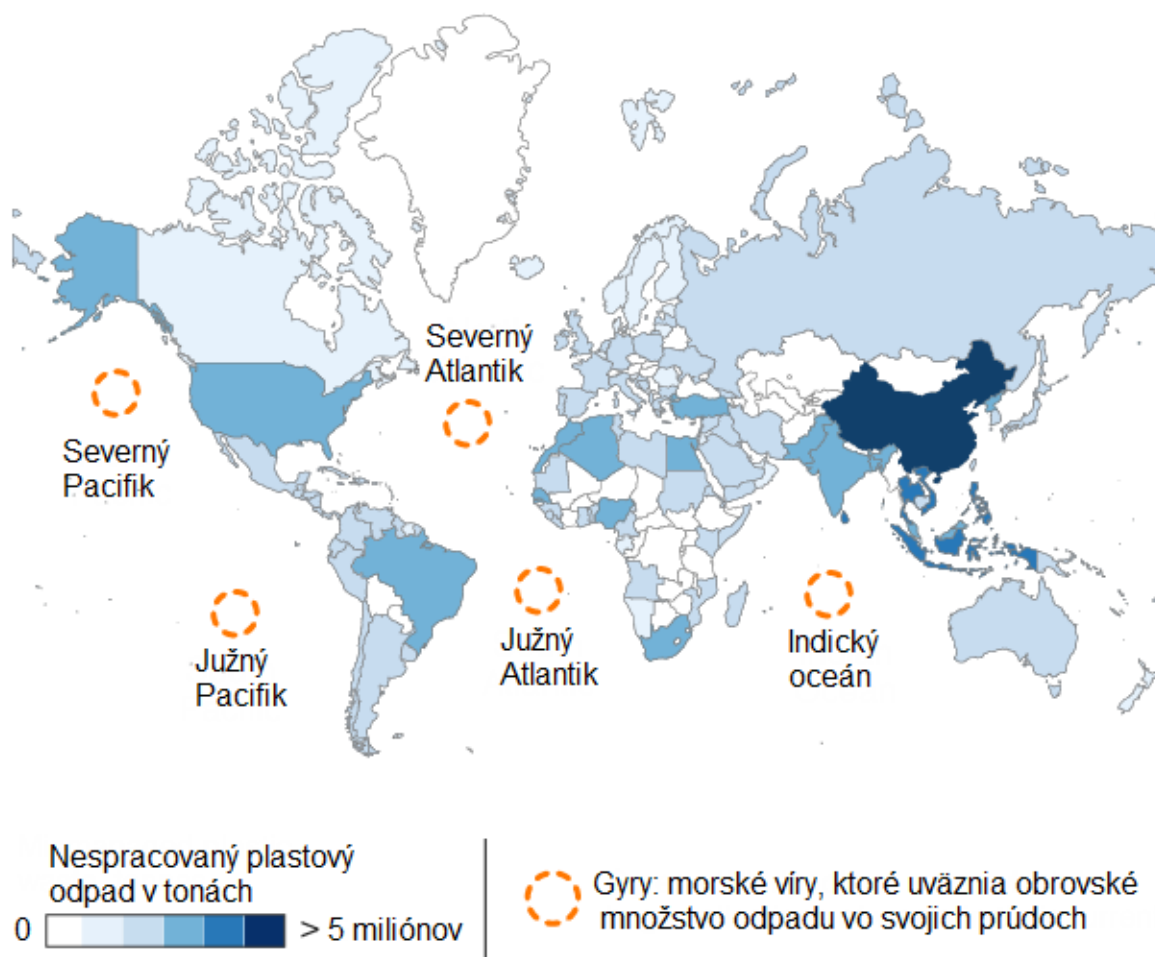
Pri spaľovaní plastov obsahujúcich chlór ako je PVC vznikajú toxické splodiny. Pri dokonalom spaľovaní (bez prístupu kyslíka) spálením PVC vzniká oxid uhličitý, voda a chlorovodík, ktorý sa dá relatívne ľahko odstrániť. Pri nedokonalom spaľovaní vznikajú vysoko toxické polychlorované dibenzofurany a polychlorované dibenzodioxiny. Sú to látky biologicky takmer neodbúrateľné. PCDFs a PCDDs majú vysokú schopnosť akumulácie a po dlhšom čase môžu v organizme dosiahnuť toxických hladín [26, 27].

2.4 Mikroplasty

2.4.1 Charakteristika mikroplastov

Pojem mikroplast sa začal používať až v poslednom desaťročí a to i napriek faktu, že prvá zmienka o malých časticiach v moriach a oceánoch bola už v roku 1970, je toho veľa čo sa o mikroplastoch ešte nevie. Za mikroplasty sú označované úlomky menšie ako 5 milimetrov [28]. Plasty predstavujú problém pre životné prostredie z dvoch hlavných dôvodov. Prvým je fakt, že vďaka ich malej veľkosti sú schopné sa akumulovať v biote a tým kontaminovať zdroje potravy. Druhým nebezpečným faktorom je schopnosť plastu absorbovať nebezpečné látky. Zdroje mikroplastov, ktoré sa nachádzajú v životnom prostredí môžeme rozdeliť na primárne a sekundárne. Ako sekundárne zdroje sú označované väčšie kusy plastov, ktoré degradovali do menších a menších rozmerov. Taktiež to môžu byť vlákna uvoľňujúce sa pri praní oblečenia, vyrobeného hlavne z polyesterových vlákien (PES), akrylátu, polyamidu (PA). Koncentrácia môže dosiahnuť hodnotu viac ako 100 vlákien na jeden liter odpadu. Vlákna, podobné tým z domácností, boli zistené ako dominantné v oblastiach čistiarní odpadných vôd (ČOV) a okrem preukázaných vysokých koncentrácií, bola taktiež zistená ich vysoká perzistencia. Za primárny zdroj sú považované plastové mikroguličky, ktoré sú už dlhé roky využívané v medicínskom, farmaceutickom a kozmetickom priemysle. Je ich možné nájsť v produktoch každodennej hygieny ako je zubná pasta či mydlo z ktorých sa mikroguličky dostávajú do odpadnej vody a pre ich malú veľkosť sa ľahko dostanú cez čistiace filtre a ďalej do riek a oceánov. Tieto častice sú vyrábané najmä z PE, PP a PS. Iný primárny zdroj mikroplastov môže pochádzať z poľnohospodárstva. A to konkrétne z práškovania. Otázka problematiky mikroplastov je spojovaná najmä s morskými ekosystémami. Za jeden z hlavných zdrojov mikroplastov v oceánoch sa pokladajú sladkovodné rieky, ktoré vtekajú do morí a oceánov. Vysoký podiel mikroplastov v oceáne je taktiež spôsobený veľkým pacifickým košom alebo teda Great Pacific Garbage Patch, ktorý sa nachádza v severnom pacifickom oceáne medzi Hawajom a Kaliforniou. Ročná produkcia plastov dosiahla 320 milióna ton ročne z čoho viac ako 8 miliónov ton skončí v oceánoch. Plasty sa koncentrujú na niekoľkých miestach vďaka oceánskym vírom, tieto miesta sa nazývajú gyry (obr.5). Najväčším je práve už spomínaný pacifický kôš. Jeho momentálna rozloha sa odhaduje na 1,6 milióna km^2 . Obrázok 5 zobrazuje päť najväčších známych gyrov nachádzajúcich sa v oceáne. Oceánske víry zároveň udržiavajú plasty pokope. 90 % plastového odpadu pozostáva z obalov na jedno použitie, ktoré sa postupne fragmentujú na menšie častice.

Ostatných 10 % sú predovšetkým chemické kaly, plasty a úlomky plastov rôznych veľkostí. Veľká časť tejto škvrny pozostáva z malých plastových úlomkov a mikroplastov, ktorých hĺbka môže siahať až do tridsiatich metrov pod hladinu oceánu. Prítomnosť mikroplastov bola potvrdená už aj v hlbokomorských sedimentoch [29]. Mimo oceánov, morí a riek si mikroplasty našli cestu už aj do pôdy, pitnej vody a ovzdušia [30, 31].



Obrázok 5: Zobrazenie polohy 5 najväčších gyrov v oceánoch. Odtien modrej farby znázorňuje množstvo nesprávne spracovaného plastového odpadu v tonách [32].

2.5 Mikroplasty v životnom prostredí

2.5.1 Mikroplasty a akvatický ekosystém

Rozsah znalostí a poznatkov o akumulácii a účinkoch plastov v sladkovodných systémoch je značne menší než ten o slanovodných systémoch. V moriach a oceánoch malé rozmery a nízka hustota mikroplastov majú za následok ich transport na veľké vzdialenosti predovšetkým prostredníctvom oceánskych prúdov. Ich prítomnosť bola detekovaná aj na vzdialených miestach ako sú ostrovy stredného Atlantiku či Antarktické ostrovy a dokonca aj v hlbokomorských biotopoch. V morských systémoch sa môžu vyskytovať rôzne druhy prírodných síl ako sú búrky, vlny a oceánske prúdy. Tieto faktory výrazne ovplyvňujú fragmentáciu plastov a preto rýchlosť a miery rozpadu v morských a oceánskych systémoch sú presne známe tak ako aj distribúcia mikroplastov. Kľúčom pre odhad globálnej distribúcie je pochopenie vonkajších síl, ktoré ich ovplyvňujú.

Rôzne kvantitatívne a modelovacie prístupy poukazujú na úlohu týchto síl, ktoré ovplyvňujú transport a rozptýlenie. Vzhľadom na to, že plasty nachádzajúce sa vo vodných systémoch majú vyššiu, rovnakú alebo nižšiu hustotu ako voda, môžu byť distribuované v celom vodnom stĺpci. Častice s nízkou hustotou zaberajú povrch hladiny, zatiaľ čo plasty s vysokou hustotou sa nachádzajú v hĺbke a na dne [33, 34].

V posledných rokoch celá rada štúdií potvrdzuje výskyt mikroplastov aj v sladkovodných ekosystémoch po celom svete. Zdroje mikroplastov v sladkovodných a slaných systémoch sú zhodné a teda ako už bolo uvedené pochádzajú z primárnych alebo sekundárnych zdrojov. Mikroplasty z domácností, pochádzajúce či už z oblečenia, čistiacich prostriedkov alebo kozmetických prípravkov ako aj primárne mikroplasty priemyselného pôvodu boli potvrdené vo vzorkách už takmer z celého sveta. Na množstve mikroplastov v danom systéme sa podieľa mnoho faktorov ako napríklad hustota obyvateľstva v blízkosti vodného útvaru, blízkosť mestských centier či priemyselných oblastí. Transport mikroplastov ovplyvňujú aj faktory ako sú rýchlosť prúdu, hĺbka vody, topografia dna, sezónna variabilita (letná stratifikácia, zimná stagnácia) či prílivový cyklus, búrky, záplavy alebo antropogénna aktivita [35].

2.5.1.1 9SOIY SODVWRY D PLNURSODVWRY QD ELRWX DNY

Prítomnosť mikroplastov vo vodnom prostredí predstavuje veľkú hrozbu pre celý ekosystém. Ich prítomnosť výrazne zasiahla oceány, moria, pobrežné oblasti, jazerá, rieky a dokonca aj polárne oblasti. Celkové dôsledky dopadu mikroplastov na živočíchy po ich požití sa stále iba skúmajú ale zatiaľ zistené informácie poskytujú dôkaz o závažných fyziologických vplyvoch. Okrem toho existuje potenciál kontaminácie organizmov mikroplastami, ktoré absorbujú chemikálie na svojom povrchu z okolitého prostredia (napríklad PCBs), alebo chemikálií, ktoré sú pridávané do plastov pri ich výrobe. Experimentami bolo preukázané, že hydrofóbne kontaminanty sa ľahšie absorbujú do mikroplastov než do sedimentov a tým sa stávajú po požití zdrojom kontaminantov pre organizmy. V štúdiách zaoberajúcich sa negatívnym pôsobením PVC bolo preukázané, že jeho požitie viedlo k porušeniu imunitných funkcií, fyziologickému stresu a následné mortalite. Zvýšená úmrtnosť bola pozorovaná pri testoch toxicity viacerých typov plastov, taktiež ako aj negatívny vplyv na fyziológiu živočíchov. Okrem priamych interakcií s organizmami môžu mať mikroplasty i vplyvy nepriame a to ovplyvnením abiotických faktorov životného prostredia. Predpokladá sa, že akumulácia mikroplastov mení prienik svetla do vodného stĺpca a tým ovplyvňuje biochemické cykly. Negatívne účinky má aj akumulácia mikroplastov v sedimentoch [34].

2.5.2 Mikroplasty a pôdne ekosystémy

Napriek tomu, že pôdne systémy dostávajú menšiu pozornosť ako tie akvatické odhaduje sa, že kontaminácia mikroplastov v pôde môže byť až 23-násobne väčšia než ako v oceáne [1]. I keď rozsah štúdií o pôdnych systémoch nie je taký rozsiahly ako v prípade akvatických ekosystémov, experimentmi boli zistené rôzne škodlivé účinky. Pre nedostatok svetla a kyslíku môžu mikroplasty pretrvávať v pôde stovky rokov, počas ktorých môžu reagovať s pôdnou faunou a tým ovplyvniť jej prirodzený vývin. Ako v akvatickom, tak aj v pôdnom systéme, plasty vylúhovaním uvoľňujú do ekosystému rôzne toxické látky prítomne v plaste. Týmito látkami zvyčajne bývajú už spomínané aditíva, pridávajúce sa do plastov pre zlepšenie ich vlastností. Jednými z týchto aditív sú napríklad ftaláty a bisfenol A, ktoré sú známe svojou schopnosťou narušiť endokrinný systém u stavovcov a niektorých druhov bezstavovcov. Ďalší problém predstavujú nanoplasty, ktorých veľkosť im umožňuje interakciu s biomembránami, organelami a molekulami rastlín a živočíchov.

Práve tieto interakcie môžu mať za následok mnohé negatívne účinky bežne vyvolané toxickými chemikáliami ako sú zmeny v membránovej permeabilite, oxidačný stres či zápal [36, 37].

2.6 Bioplasty

Rozsiahla výroba plastov a ich použitie v rôznych komerčných aplikáciách predstavuje významnú hrozbu pre zdroje fosílnych palív a aj pre životné prostredie. Alternatíva nazývaná bioplasty sa vyvinula počas vývoja obnoviteľných zdrojov. Využívanie obnoviteľných zdrojov ako poľnohospodárske odpady a ich biologická odbúrateľnosť v rôznych prostrediach umožnili, aby boli tieto polyméry ľahšie prijateľné prostredím než bežné plasty. V závislosti od pôvodu rozlišujeme bioplasty na biologické a petrochemické. Biologické plasty sú z veľkej časti biologicky odbúrateľné a vyrábané z materiálov prírodného pôvodu (pochádzajúcich z rastlín a živočíchov), ako sú polysacharidy (škrob, celulóza, chinín), bielkoviny (želatína, hodváb, vlna) lipidy (rastlinné oleje, živočíšne tuky). Petrochemické bioplasty sú vyrábané z materiálov ako je prírodný kaučuk alebo polyestery, ktoré boli vyrobené buď mikroorganizmami alebo syntetizované z biologicky odvodených monomérov (napríklad kyselina polymliečna PLA). Mnohé komerčne vyrábané bioplasty však kombinujú materiály oboch pôvodov s cieľom znížiť náklady alebo zvýšiť výkonnosť. Ročná výroba biologicky rozložiteľných plastov na celom svete dosahuje približne 350 000 ton, čo však predstavuje menej ako 0,2 % z produkcie syntetického plastu, ktorého hodnoty dosahujú 320 miliónov ton ročne. Bioplasty našli uplatnenie najmä pri tovaroch s krátkou životnosťou, kde biologická odbúrateľnosť je kľúčovou výhodou. Táto skupina zahŕňa rôzne spotrebiteľské obaly, tašky, poľnohospodárske fólie dokonca aj golfové odpaliská. Bioplasty sa používajú aj v trvanlivejších aplikáciách, ako je textilný, automobilový priemysel, kde biologickú odbúrateľnosť je potrebné potlačiť. Tak ako u bežných plastov je biologická odbúrateľnosť bioplastov ovplyvnená ich fyzikálnou a chemickou štruktúrou. A však rozhodujúcu úlohu v procese biodegradácie zohráva prostredie, v ktorom sa plast nachádza [38, 39].

2.6.1 Bioplasty verus Plasty

V súčasnosti je najdôležitejším nástrojom na hodnotenie vplyvu (bio) plastov na životné prostredie, posúdenie životného cyklu plastov. Životný cyklus určuje celkový vplyv plastov na životné prostredie. V analýze nazývanej life cycle assessment (LCA) sa posudzuje aký vplyv majú plasty a bioplasty na niektoré základné faktory životného prostredia ako je: abiotické stresory, globálne otepľovanie, toxický potenciál pre človeka, toxicita vo vodnom systéme, pozemné toxicita, acidifikácia [40].

Zistené údaje ukazujú, že výroba a používanie bioplastov je výhodnejšia v porovnaní s komerčnými plastmi z pohľadu spotreby energie a emisií. Taktiež bioplasty majú výrazne nižší vplyv na globálne otepľovanie než bežné plasty. Naopak bioplasty majú silný vplyv na okysľovanie pôdy a eutrofizáciu (procesy zvyšujúce podiel anorganických živín ako je dusík či fosfor a tým narušujú prirodzenú rovnováhu systému). Tento jav bol spôsobený najmä hnojivami využívaných pri pestovaní surovín používaných pre výrobu bioplastov. Keďže z analýzy LCA vyplynulo, že bioplasty majú v niektorých faktoroch pozitívny vplyv a v iných negatívny, bolo potrebné určiť index celkového vplyvu na životné prostredie. Do tohto indexu boli začlenené a primerane zvážené všetky faktory. Každý plast/ bioplast v experimentoch mal rozličné hodnoty indexu a však vo všeobecnosti bioplasty preukázali menšiu záťaž na životné prostredie [40].

- **B**

Pre výrobu bioplastov sa najčastejšie používajú cenné potravinárske suroviny ako je pšenica, kukurica, cukor, ryža, zemiaky a sója. Keďže tieto suroviny sú nevyhnutelné v potravinárskom priemysle ich vysoká spotreba v procese výroby bioplastov by mohla výrazne ovplyvniť ich cenu na trhu a tým následne zvýšiť náklady na potraviny. Práve z tohto dôvodu si vývoj bioplastov vyžaduje použitie menej hodnotných surovín, ako sú odpady z poľnohospodárskeho alebo potravinárskeho priemyslu. Ďalšou alternatívou môže byť aj využitie bežne nepoužívaných geneticky modifikovaných rastlín, ktoré sa môžu pestovať v krajinách nevhodných na pestovanie potravín. V procese výroby sa tak ako aj u bežných plastov pridávajú aditíva a to hlavne pre zlepšenie mechanických vlastností výsledného bioplastu. Tieto aditíva sa musia používať veľmi obozretne pretože môžu nielen spomaliť biologickú odbúrateľnosť a spôsobiť závažné ekotoxické účinky ale taktiež môžu spôsobiť, že bioplast už nie je možné kompostovať [40, 41].

- **B**

Použitie bioplastu bolo ovplyvnené nie len záťažou na zdroje pri výrobe plastu, ale aj druhým environmentálnym motívom súvisiacim s likvidáciou plastového odpadu. V minulosti hlavným systémom zbavovania sa tuhého odpadu (obsahujúcim 20-30 % plastov) bolo odkladanie na skládky. A i keď tradičné plasty podliehajú degradačným procesom, tieto procesy sú veľmi zdĺhavé a častejšie ako k degradácii dochádza k fragmentácii čo vedie k tvorbe mikroplastov. Naopak bioplasty vykazujú vyššiu mieru degradácie na skládkach. V dnešnej dobe je tento spôsob nakladania s odpadom nahrádzaný inými z dôvodu nedostatku priestorov a možnej kontaminácie životného prostredia. Najvýhodnejší spôsob zbavenia sa bioplastov je kompostovanie, tento proces bude neskôr opísaný podrobnejšie a odhaduje sa, že je až o 80 % účinnejší ako degradácia bioplastov za bežných podmienok. Procesy recyklácie bioplastov ešte neboli vyvinuté. Problémy prichádzajúce s plastovým odpadom a jeho recykláciou boli opísané už v predchádzajúcej kapitole [40, 42].

2.7 Rozklad bioplastov v rôznych prostrediach

Podmienky prostredia ako je pH, vlhkosť, obsah kyslíka a teplota zohrávajú úlohu v stupni biodegradácie bioplastov. Tento proces taktiež ovplyvňuje aj štruktúra a zloženie biopolyméru. Modifikácia zloženia biopolyméru, vrátane pridania aditív s vysokým obsahom rozpusteného cukru môže zvýšiť biologickú odbúrateľnosť. Za biodegradáciu bioplastov sú zodpovedné mikroorganizmy prítomné v ekosystémoch. Mikroorganizmy katalyzujú biodegradáciu biopolymérov prostredníctvom enzýmov [43].

- **Kompost**

Kompostovanie je proces, pri ktorom sa organická hmota premieňa na CO₂ a materiál zvaný humus pomocou mikroorganizmov. Za kompostovateľný plast sa pokladá ten, ktorý počas kompostovania degraduje biologickými procesmi na oxid uhličitý, vodu a anorganické zlúčeniny, konzistentnou rýchlosťou akou degradujú iné materiály a nezanechávajú žiadne vizuálne rozoznateľné alebo toxické reziduá. Z tohto dôvodu nie každý biologicky rozložiteľný plast je kompostovateľný. Kompostovanie musí prebehnúť za špecifických podmienok prostredia (teplota, pH a vlhkosť). Pre jednotlivé typy plastov sú tieto hodnoty rozdielne. Štúdiami bolo tiež zistené, že používanie aditív na báze jedla zvyšuje rýchlosť biodegradácie. Prítomnosť kukurice v PLA (kyselina polymliečna) zlepšuje biodegradáciu v komposte, pretože kukurica je vysoko biologicky rozložiteľný materiál [44].

V inej štúdií [45] bolo zase zistené, že pridanie acetátu butyrátu celulózy do matrice PLA biodegradáciu naopak zhoršilo pretože polymér sa stal viac hydrofóbnym. Zníženie biodegradácie bolo zistené aj po pridaní PBAT (polybutylén adipátereftalát) pri plastoch PLA a PHB (polyhydroxybutyrát) [46]. Ako už bolo skôr uvedené, na výrobu bioplastov možno využiť obnoviteľné zdroje ako je poľnohospodársky odpad, ktorý sa využíva pri výrobe bioplastu z acetátu celulózy (CA). Rozklad tohto bioplastu trvá asi dva týždne [43].

- **Pôda**

Keďže plastové odpady často skončia v pôde, bola skúmaná aj degradácia bioplastov. Pôda obsahuje vysokú biodiverzitu mikroorganizmov, ktoré umožňujú že biodegradácia prebieha rýchlejšie ako v iných prostrediach. Tak ako v predchádzajúcom prípade pre lepšiu rozložiteľnosť boli do plastov pridávané aditíva na báze jedla. V štúdií z roku 2011 [47] bola skúmaná biodegradácia PLA v reálnom pôdnom prostredí po dobu 11 mesiacov. Biodegradácia prebehla účinne ale veľmi pomaly. Pomalá rýchlosť biodegradácie mohla súvisieť s nižšou teplotou prostredia. Rýchlosť a účinnosť biodegradácie bioplastov výrazne závisí od hodnoty pH pôdneho systému. Nízke pH môže zhoršiť mikrobiálnu aktivitu a tým výrazne znížiť rýchlosť biodegradácie. V štúdií Boyandina z roku 2013 [48] bolo zistené, že väčšie kusy bioplastov degradovali rýchlejšie. Na väčšom povrchu sa prichytilo viac mikroorganizmov a tým sa urýchlil proces biodegradácie [43].

- **Voda**

Ako už bolo písané mnoho krát, veľké množstvo plastového odpadu skončí vo vodnom prostredí, či už to sú jazerá, rieky, moria, oceány. Z tohto dôvodu bolo potrebné taktiež zistiť biodegradáciu bioplastov vo vodnom prostredí. Predpokladá sa že používaním bioplastov by sa mohla výrazne znížiť kontaminácia vodných ekosystémov plastmi a tým zlepšiť kvalitu. Tak ako bolo vyššie uvedené, teplota prostredia ovplyvňuje rýchlosť biodegradácie a preto rýchlosť biodegradácie v akvatických systémoch výrazne závisí od ročného obdobia. Ďalším dôležitým faktorom je aj zemepisná šírka. V roku 2010 prebehla ďalšia štúdia, v ktorej bolo zistené, že veľkosť bioplastu má veľký vplyv na rýchlosť biodegradácie. Väčšie kusy PHA bioplastov boli degradované rýchlejšie [43, 49].

2.8 Ekotoxická

Ekotoxikológia sa zaoberá osudom a účinkami kontaminantov v biosfére. Ekotoxikológia kombinuje poznatky z ekológie, toxikológie, fyziológie, analytickej chémie, molekulárnej biológie a matematiky. Na rozdiel od ľudskej toxikológie, ekotoxikológia sa zaoberá toxickými účinkami na zložky životného prostredia ako sú rastlinné a živočíšne organizmy ich populácie, biocenózy a ekosystémy. V ekotoxikológii sa využívajú súbory testov, kedy sa v laboratóriu testujú účinky rôznych kontaminantov na rôzne zložky životného prostredia (fauna, flóra) v porovnaní s kontrolnou skupinou bez prítomnosti kontaminantu. Testy ekotoxicity, ktoré sa zameriavajú na reakcie jednotlivých organizmov na kontaminanty, sa nemusia priamo uskutočňovať na žijúcich organizmoch. Matematické modely môžu pomôcť pri hodnotení rizík spojených s kontaminantmi a však experimentálne prístupy s modelovými ekosystémami poskytujú najlepšie prostriedky pre dosiahnutie čo najlepšieho pochopenia vplyvu kontaminantov. Ekotoxikológia zohráva kľúčovú rolu pri informovaní a posudzovaní ekologického rizika. Výsledky ekotoxikologických testov pomáhajú určiť spôsoby riadenia výroby, používania a likvidácie priemyselných a poľnohospodárskych chemikálií. Ekotesty sa tiež využívajú pre posúdenie dopadu na životné prostredie látkami využívaných ľuďmi v každodennom živote. Takýmto príkladom sú plasty.

Plasty sa stali neodmysliteľnou súčasťou našich životov. Vyskytujú sa v každej zložke životného prostredia a preto je treba zistiť ako naňho vplývajú [50, 51].

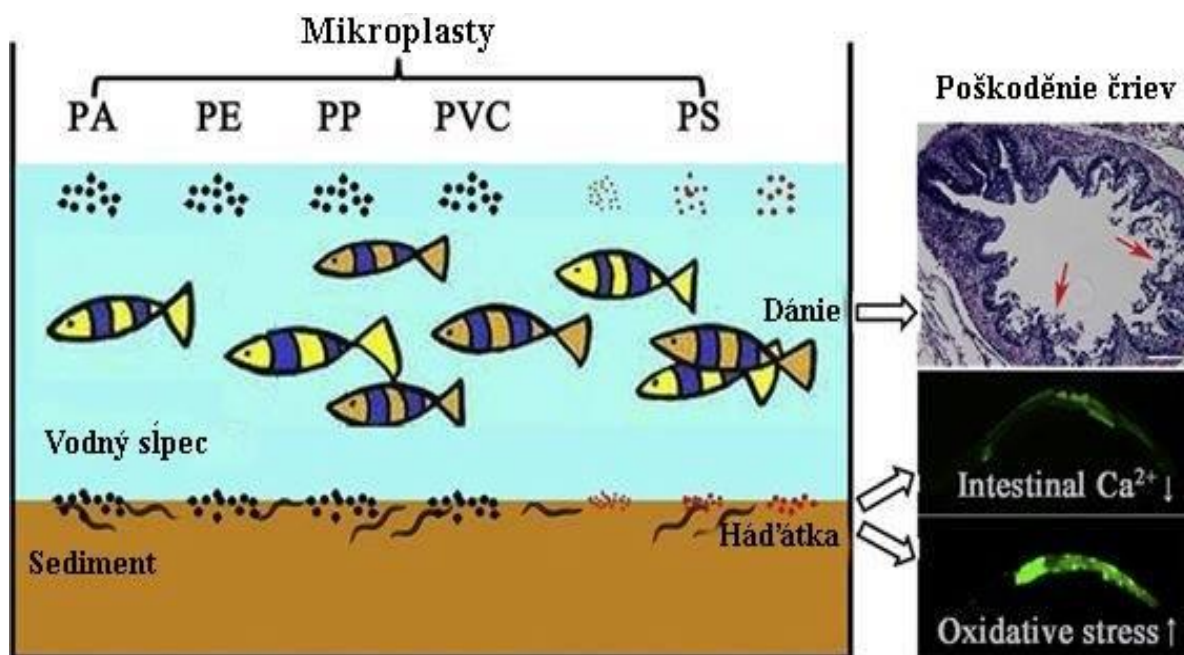
2.8.1 Ekotoxikologické testy

Testy toxicity slúžia na zistenie možného toxického vplyvu látok na biocenózu ekosystémov. Umožňujú rýchle a dostatočné zhodnotenie kontaminantov, na základe ktorého je možné odhadnúť alebo priamo určiť účinok týchto látok. Testy podávajú aj informácie o biologickej aktivite a schopnosti kontaminantov prechádzať biomembránmi. Testy na biologickom materiáli (bioassays), majú za hlavný cieľ stanoviť hraničné koncentrácie, v ktorých sú ešte testované organizmy života schopné. Biotest je proces, pri ktorom je testovací systém (tkanivo, organizmus, populácia) vystavený v presne definovaných podmienkach rôznym koncentráciám sledovaného kontaminantu alebo zmesi kontaminantov [52].

2.8.2 Skúmanie škodlivého dopadu plastov a mikroplastov na biotu akvatických ekosystémov

V rozsiahlej štúdií od Lili Lei boli na testy toxicity použité živočíšne organizmy a to ryba *Danio rerio* (danie pruhované) a hlísty *Caenorhabditis elegans* (háďatka obecné). Testy boli vykonané v sladkovodnom prostredí a skúmali sa účinky bežných typov plastov: PA, PE, PP, PVC a PS (obr. 6). Prebehli dva rôzne typy testov keď v jednej skupine testovali každý druh plastu samostatne, pričom veľkosti plastov boli približne rovnaké (7 μm). Ďalšie skupiny boli vystavené rôznym veľkostiam plastu PS (0,1 μm ; 1,0 μm ; 5,0 μm). Sledované boli účinky na úmrtnosť, veľkosť tela, schopnosť reprodukovateľnosti, oxidačné poškodenie a hladiny vápniku v telách sledovaných jedincov. Cieľom tejto štúdie bolo zistiť, preskúmať a porovnať toxické účinky medzi piatimi typmi testovaných plastov. Po ukončení desaťdňovej expozície *D. rerio* a spracovaní dát bolo vyhodnotené, že skupiny plastov PP a PVC mali najväčší vplyv na úmrtnosť a najmenší mali plasty PA a PE. Taktiež bolo zistené, že plasty PS o veľkosti 7 μm nepreukázali žiadnu zvýšenú úmrtnosť. Mimo mortality, ako už bolo písané na začiatku, boli skúmané aj morfológické zmeny. U prežitých rýb, ktoré boli vystavené jednotlivým typom plastov o veľkosti 7 μm , boli zistené histologické zmeny v čreve. 73 až 86 % z testovaných jedincov preukázalo významné poškodenie čрева. Hlavné poškodenie zahŕňalo praskanie klkov a štiepenie entrocytov, pričom jednotlivé druhy plastov nevyvolali rozdielnu závažnosť poškodenia. Z týchto výsledkov vyplýva, že mikroplasty majú skôr mechanický vplyv, daný veľkosťou častíc, než vplyv chemický v závislosti od zloženia plastu. Morfológické zmeny jedincov vystavených plastom PS o rôznych veľkostiach (0,1 μm ; 1,0 μm ; 5,0 μm), neboli pozorované vôbec.

Dĺžka testov pri ktorých sa využili Háďatka obecné bola dva dni. Na rozdiel od predchádzajúcich testov, neprebehli vo voľnom vodnom prostredí ale v sedimentoch. Tak ako pri predchádzajúcich testoch ako prvá bola pozorovaná mortalita u jednotlivých typov plastu o veľkosti 7 μm . Bolo zistené že, všetky typy mikroplastov mali významné škodlivé účinky na prežitie už od nízkych koncentrácií ($c < 0,05 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$). V týchto testoch využitím rôznych veľkostí plastu skupiny PS bolo ďalej zistené, že veľkosť použitých častíc má významný vplyv na prežitie. Častice o veľkosti 0,1 μm spôsobili mierne zvýšenú úmrtnosť, zatiaľ čo častice o veľkosti 1,0 μm výrazne zvýšili mortalitu. Okrem zvýšenej mortality bolo vypozerované, že mikroplasty mali negatívny vplyv na množstvo embryí, veľkosť plodu a aj na veľkosť dospelých jedincov. Pozorované bolo aj výrazné zníženie hladín vápniku v čreve testovaných jedincov (obr. 6). Výsledky týchto testov naznačujú, že schopnosť akumulácie mikroplastov vedie k toxickým účinkom na rozmnožovanie a prežitie a taktiež, že toxicita je závislá na veľkosti častíc a nie len na ich chemickom zložení a taktiež aj na druhu cieľového organizmu [53].



Obrázok 6: Na obrázku su znázornené častice plastov, organizmy im vystavené, poškodenie čriev a zníženie hladín Ca^{2+} [52].

V ďalšej štúdií boli skúmané účinky polystyrénových (PS) mikroguličiek troch rozmerov o priemere 0,05; 0,5; a 6 μm na prežitie, vývoj a plodnosť *Copepodi* (veslonôžiek). V akútnom teste toxicity (96 hodín) veslonôžky (embryá, dospelé samice) nevykazovali zvýšenú úmrtnosť ani u jednej skupiny v závislosti na koncentrácii a veľkosti PS mikroguličiek. Pri dvojgeneračných testoch bolo zistené, že perličky PS o veľkosti 0,05 μm spôsobujú úmrtnosť embryí a dospelých jedincov pri koncentrácii vyššej ako 12,5 $\mu\text{g/ml}$. V ďalšej generácii mortalita bola detekovaná už pri koncentrácii 1,25 $\mu\text{g/ml}$. Mikroguličky o veľkosti 0,5 μm pri vyšších koncentráciách (25 $\mu\text{g/ml}$) výrazne ovplyvnili dĺžku životného cyklu testovaných jedincov. Zatiaľ čo mikroguličky o veľkosti 6 μm neovplyvnili mortalitu testovanej skupiny po dobu dvoch generácií. Kombinácia mikroguličiek o veľkostiach 0,5 a 6 μm spôsobili významné zníženie plodnosti pri všetkých koncentráciách. V tejto štúdií sa opäť preukázalo ako veľkosť čiastočiek ovplyvňuje ich toxicitu [54].

Rovnako sa aj v štúdií Matthewa Cola sa zaoberajú dôsledkami vystaveniu veslonôžiek plastmi. Bolo zisťované ako plasty ovplyvňujú schopnosť príjmu potravy, rozmnožovania a celkovo ich schopnosť fungovania. Veslonôžky sú bohatou triedou zooplanktonu. Veslonôžky boli vystavené PP mikroplastom (75 častíc mikroplastov na ml) po dobu 24 hodín. Bolo zistené, že pri tejto expozícii veslonôžky prijali o 11 % menej potravy ako zvyčajne. Dlhodobejšia expozícia mala za následok produkciu menších vajíčok s menším počtom vyliahnutí. Z týchto výsledkov bolo vyhodnotené, že konzumáciou PP mikroplastov o veľkosti 20 μm (bežne používaných v kozmetike) sa výrazne znižuje schopnosť prežitia veslonôžiek (nedostatok živín v dôsledku zanesenia tráviaceho traktu plastmi) a výrazne redukuje počet populácie [55].

V štúdií C.R. Nobra sa nezaoberajú priamo mikroplastami a ich dopadom na živočíchy po požití mikroplastov, ale toxickými látkami ktoré sú z plastov uvoľňované do vodného prostredia a vplyvom týchto toxikantov na živočíchy. Bola vyhodnotená toxicita čistého plastu a plastu zozbieraného z pláže na vývoj embryí ježovky. Pričom sa predpokladalo, že čistý plast bude mať toxickejšie účinky než plasty zozbierané z pláže. Ako čistý plast bol použitý polyetylén získaný priamo z továrne.

Plasty do druhej skupiny boli zozbierané z pláže v Sao Paulu v Brazílii. Testy ukázali, že čistý plast mal toxickejšie účinky presne tak ako sa predpokladalo. Tento predpoklad bol založený na fakte, že plasty zozbierané z pláží vplyvom rôznych faktorov už podľahli čiastočnému rozkladu. Čistý plast zvýšil anomálny vývoj embryí o 58,1 % až 66,5 % zatiaľ čo druhá skupina sa pohybovala v rozmedzí 17,2 % až 53,3 %. Tieto testy ako mnohé iné opäť preukázali, že plasty pôsobia ako zdroj znečisťujúcich látok. Táto toxicita je spôsobená najmä už spomínanými aditívami, ktoré sa uvoľňujú do prostredia. Miera toxicity závisí od druhu expozície a od druhu prostredia v ktorom sa plast nachádza [56].

V ďalšej štúdií Pablo Pena Gandera e Silva spolu z jeho tímom taktiež skúmali dopad výluh z mikroplastov ale v tomto prípade na vývoj lariev hnedých mušlí (*Perna perna*). Mimo škodlivých látok, ktoré sa v plastoch nachádzajú už od ich výroby problémom je aj schopnosť plastov akumulovať rôzne typy perzistentných organických polutantov ako sú PCBs, DDTs (dichlordifenyiltrichlóretán), PAUs (polycyklické aromatické uhľovodíky) či ťažké kovy. Plasty práve takto môžu prepravovať rôzne typy nečistôt a ich uvoľňovanie môže toxicky pôsobiť na biotu. Dospelé jedince boli zozbierané v severnej oblasti pobrežia Sao Paula, ktorá je známa svojou čistou vodou a využíva sa na zber mušlí pre ľudskú konzumáciu. Zozbierané jedince boli vytriedené na samčie a samičie, pričom samice boli oplodnené. Tak ako v predchádzajúcej štúdií aj tu použili na jednu skupinu náhodne zozbieraný plast z pláže. Zber bol vykonaný raz až dvakrát v mesiaci počas jedného roku na dvoch rôznych plážach. Pre druhú skupinu bol použitý čistý plast PP (polypropylén). Tieto plasty boli roztriedené do viacerých kontajnerov, v ktorých následne prebiehali experimenty. Jeden druh experimentov bol zameraný na zistenie toho ako plast ovplyvňuje vývoj embryí a taktiež či jeho množstvo ovplyvní výsledky. Na tento experiment bol použitý čistý PP. Druhý experiment bol zameraný na posúdenie rozdielov dopadu medzi dvoma skupinami použitých plastov. Výsledky ukázali, že čistý plast PP výrazne ovplyvnil vývoj embryí a však výrazný rozdiel v ovplyvnení medzi rôznymi množstvami PP neboli pozorované. Druhý experiment, tak ako aj v predchádzajúcej štúdií preukázal, že skupina čistého PP mala výraznejšie škodlivejší účinok na embryá či už na ich vývoj alebo životnosť. Rozdielne účinky plastov zozbieraných z rôznych lokalít či v rôznych ročných obdobiach neboli zistené [57].

2.8.3 Skúmanie škodlivého dopadu plastov a mikroplastov na biotu pôdných ekosystémov

2.8.3.1 ŠTÚDIÁ O VPLYVOCH PLASTOV A MIKROPLASTOV NA ŽIVOTNOSŤ A KVALITU ŽIVOTA DÁŽĎOVIEK

V štúdií Esperanza Lwangana študovali úmrtnosť a kvalitu života dážďoviek po tom čo boli vystavené mikroplastom. V experimentoch boli použité mikroplasty polyetylénu (PE) v rôznych koncentráciách (7, 28, 45, 60 %). Úmrtnosť po 60 dňoch v skupinách obsahujúcich 28,45 a 60 % mikroplastov bola výrazne zvýšená oproti kontrolnej skupiny a skupiny s obsahom 7 % mikroplastov. Zaznamenané bolo aj zníženie rýchlosti rastu a priemernej hmotnosti. V 4 dňovom experimente prebiehajúcom v Petriho miskách nebola zaznamenaná zvýšená úmrtnosť, zaznamenali výrazné zníženie rýchlosti rastu v skupinách s obsahom 7 % a 60 % plastu. Zvýšená úmrtnosť sa nevyskytla ani pri 14 dňovej expozícii. Na základe získaných údajov bolo vyhodnotené, že mortalita dážďoviek závisí od koncentrácie mikroplastov a od dĺžky expozície. Ďalším dôležitým poznatkom bolo, že mikroplasty ovplyvnili aj schopnosť dážďoviek vytvárať tuneli a tým prevzdušňovať pôdu [58].

2.8.3.2 9SO1Y PLNURSODVWRY QD pUHYQ~ PLNURIOyUX FKYR

Pre nedostatok informácií o tom ako mikroplasty pôsobia na pôdnu biotu sa v roku 2017 Dong Zhu a jeho tím rozhodli pre experiment, ktorý mal odhaliť vplyv mikroplastov na ďalších významných zástupcoch pôdneho ekosystému a to na chvostoskoky. Experiment prebehol počas 56 dní. Boli skúmané účinky na rast, reprodukciu a najmä na črevnú mikroflóru. Bolo zistené, že rast a reprodukcia chvostoskokov boli výrazne znížené o 16 až 28 % oproti kontrolnej skupine. Expozícia mikroplastom spôsobila signifikantné zvýšenie bakteriálnej rozmanitosti v organizmoch a tým zmenili mikroflóru v črevnom systéme. Tieto výsledky teda naznačili, že expozícia mikroplastmi môže mať vplyv na biotu pôdneho systému prostredníctvom zmien v ich črevnej mikroflóre [59].

2.8.3.3 (NRWR[LNROyJND ELRSODVWRY Y

Hnojivá používajúce sa v poľnohospodárstve na zlepšenie produkcie často obsahujú plasty, ktoré môžu mať škodlivé účinky. Práve preto je snaha o výmenu bežných plastov za bioplasty. A však stále je potrebné podrobnejšie zistiť ako zložky degradovaného bioplastu môžu ovplyvniť pôdny ekosystém. Práve takáto štúdia prebehla v roku 2014 kde bolo zisťované aké účinky majú niektoré zložky degradácie bioplastu na rast a vývoj rastlín. V testoch boli použité semenka šalátu a rajčín. Testoval sa účinok niekoľkých degradovaných zložiek bioplastov (kyselina adipová, jantárová a mliečna) v koncentráciách v rozmedzí 5 až 500 mg/m². Výsledky medzi šalátom a rajčinami neboli podstatne odlišné. Z testov vyplynulo, že kyselina adipová spomalila rast a u kyseliny jantrovej nebol pozorovaný žiaden účinok. Výsledky testov pre kyselinu mliečnu boli nejednoznačné a preto boli navrhnuté rozsiahlejšie testy [60].

V Carnotovom inštitúte prebehol výskum za účelom zistiť ako degradácia bioplastov vplýva na pôdnu ekológiu prostredníctvom monitorovania nitrifikačnej aktivity. Experiment prebehol počas 21 dní, pričom odber vzoriek bol urobený každých 7 dní. V procese nitrifikácie je amoniakálny dusík premieňaný na dusičnany, ktoré slúžia ako zásoby dusíku pre rastliny. Predpokladom bolo, že ak sú plasty v skutočnosti biodegradabilné, tak ich rozklad povedie k stimulácii bakteriálnej aktivity a tým sa zvýši produkcia dusičnanov v pôde. Výsledky však preukázali presný opak a pôdy vystavené bioplastom mali zníženú nitrifikačnú aktivitu. Analýza tiež preukázala, že miera zníženia nitrifikačnej aktivity závisí i od množstva bioplastu [61].

Zároveň s experimentom pre zistenie nitrifikačnej aktivity v Carotovom inštitúte prebehol aj experiment za účelom zistiť ako degradácia bioplastov v pôde ovplyvňuje mikroorganizmy vyskytujúce sa v prostredí. Tak ako v predchádzajúcom prípade bolo predpokladané, že degradácia bioplastov v pôdnom systéme je pre mikroorganizmy prospešná, pretože sa stávajú zdrojom uhlíka pre mikroorganizmy. A však táto hypotéza sa opäť preukázala ako chybná, keď výsledky experimentu ukázali, zníženie mikrobiálnej aktivity. Z týchto výsledkov bolo usúdené že bioplasty menia kvalitu a ekológiu pôdy a v tomto prípade k horšiemu [61].

3 NÁVRH BATÉRIE TESTOV EKOTOXICITY PRE VODNÉ A PÔDNE EKOSYSTÉMY

Pri návrhu vhodného ekotestu je potrebné vziať do úvahy niekoľko faktorov a treba dbať na to aby sa dodržiavala legislatíva.

Pre objektívne posúdenie vplyvov látok na ekosystém je potrebné použiť organizmy zo všetkých trofických úrovní. Ďalej je potrebné sa zaoberať otázkou dĺžky expozície. Akútne testovanie nám síce dáva rýchle výsledky a využila by som ho pri testoch akútnej toxicity a pre zistenie mortality ale pri plastových kontaminantoch by som sa zamerala najmä na testy chronické a to kvôli vysokej perzistencii plastov v životnom prostredí. Vďaka tejto vlastnosti sa plasty udržiavajú v životnom prostredí po desaťročí a práve preto si myslím, že chronické typ testov (i keď zdĺhavý a náročnejší) je potrebný pre zistenie dlhodobých vplyvov týchto kontaminantov.

Keďže každý organizmus reaguje na prítomnosť kontaminantov iným spôsobom je potrebné pre čo najkomplexnejšie informácie využiť testy viacdruhové so zástupcami k každej trofickej úrovne.

3.1.1 Vodné ekosystémy

Tak ako už bolo písané pre čo najkomplexnejšie znalosti o danom kontaminante je potrebné použiť organizmy zo všetkých trofických úrovní (deštruenti, producenti, konzumenti).

○ Sladkovodný systém

Baktérie sa používajú na testy toxicity ako zástupcovia skupiny deštruentov. Na testy by som použila *Vibrio fischeri*, ktoré sú vhodné najmä vďaka ich luminiscenčnej vlastnosti. Tieto baktérie sa nachádzajú v sladkovodných systémoch a aj v slaných vodách a preto sa môže použiť na testy oboch systémov [62].

Sladkovodné riasy či sinice sa využívajú pri testoch inhibície rastu. Inhibícia je hodnotená na základe produkcie biomasy. Riasy sú v týchto systémoch vysoko zastúpené a preto sú vhodnými subjektmi na testovanie. Navyše plnia vo vodnom ekosystéme nezastupiteľnú funkciu producentov. Konkrétne by som na testovanie využila zelené riasy *Desmodesmus quadricauda* [62].

Test toxicity na rybách by som použila na zistenie letálnych a subletálnych účinkov plastov na ranné vývojové štádiá testovaných rýb. Na testy je potrebné použiť aspoň 60 oplodnených vajíčok. V priebehu testov sú sledované endpointy, ako sú váha a dĺžka rýb, proces liahnutia vajíčok a zmeny v správaní jedincov. Na tieto testy by som použila pstruha dúhového alebo danielku pruhozobú. Danielka sú vhodným zástupcom vďaka ich rýchlej schopnosti rozmnožovania vďaka čomu je ich larválny vývoj ľahko pozorovateľný. A sú tiež vhodným druhom pre chronické testy. V prospech danieliek je aj to, že sú ľahko získateľné, udržiateľné a lacné [63]. Ďalším možným zástupcom pre tieto testy je *Poecilia reticulata* (gupka dúhová).

Caenorhabditis elegans (háďatko obecné) je mnohobunecný organizmus, ktorý vo svojom vývoji prechádza 5 vývojovými štádiami. Na nepriaznivé životné podmienky reaguje smrťou alebo zástavou rastu. Pre tieto vlastnosti je vhodným organizmom pre test letality a inhibície rastu. Tento organizmus je vhodný na použitie testov výluhu z pevnej matrice a práve preto by som ho využila na test toxicity plastov obsiahnutých v sedimentoch [62].

- Ekosystém slaných vôd

D. manga (perloočka veľká) sa najčastejšie sa síce najčastejšie vyskytuje v sladkovodných systémoch a však niekoľko druhov je možné nájsť aj vo vodách slaných. *D. manga* sa môžu využiť pre reprodukčný test kedy sa počas 21 dňového testu stanovuje mortalita a reprodukčná schopnosť týchto organizmov. Tento organizmus by som využila pri testovaní inhibície pohyblivosti. Ďalším vhodným organizmom pre testovanie ekotoxicity je *Artemia salina*.

Vplyv plastov na morské ryby sa môže testovať na akejkolvek rybe žijúcej v tomto prostredí, ktorá je doporučená metodikou ISO alebo OCD. Ryby ako zástupcovia konzumentov v sebe akumulujú celú radu látok a teda aj mikroplasty čo potvrdzuje štúdiá, ktorá prebehla v roku 2017. Bolo zistené, že z 233 vylovených rýb viac ako 70 % obsahovalo v tele mikroplasty. Ryby sa vylovili z rôznych hĺbok v rozmedzí 300 až 600 metrov [64].

3.1.2 Pôdne ekosystémy

Tak ako v predchádzajúcom prípade je potrebné do testov zahrnúť niekoľko druhov organizmov s viacerých trofických úrovní.

Pre zistenie efektu kontaminantov na zástupcov destruentov by bolo vhodné využiť bioluminiscenčné testy baktérií je vhodné využiť *Vibrio fischeri*. Tieto baktérie by som využila na zistenie inhibície rastu. Na zistenie ďalších efektov na mikrobiálnu aktivitu by som použila chronický test pre posúdenie vplyvu chemikálií (v tomto prípade plastov) na aktivitu pôdných mikroorganizmov. A to test transformácie dusíku. Expozícia kontaminantom je jednorázová a vzorky sa odoberajú každých 7 dní (test trvá 28 dní). Tieto vzorky sú následne testované na stanovenie dusíkatých látok. V pôdnom ekosystéme by som na test inhibície koreňových systémoch využila semenka horčice bielej alebo cibuľu ako zástupcovia skupiny producentov. Rupice sú dekompozitory a teda sú to živočíchy, ktoré sa živia rozkladom rastlinného materiálu v pôdnom ekosystéme. Tieto organizmy by som použila na test reprodukcie. Na test reprodukcie sa dajú použiť aj roztoče. Z vyššej trofickej úrovne by som použila dážďovky na testy reprodukovateľnosti. Ďalším vhodným organizmom, ktorého by využila v testoch by boli chvostoskoky. Dážďovky sú tiež veľmi často využívané. Je možné ich využiť na testovanie mortality ale aj na testy reprodukovateľnosti, rovnako zaujímavým testom sú testy na zistenie ako požívanie plastov vplýva na ich dennú aktivitu. To by bolo možné uskutočniť sledovaním tvorby tunelov [52, 65].

4 ZÁVER

Plasty sú ľahké, lacné, nepodliehajú hnilobným ani koróznym procesom a tiež sa stali nevyhnutnou súčasťou každodenného života. Vysoká produkcia a rezistencia plastov má za následok ich nadmerný výskyt v životnom prostredí. Tam sa pôsobením rôznych vplyvov buď fragmentujú a vytvárajú mikroplasty alebo čiastočne degradujú.

Plasty predstavujú veľké riziko pre životné prostredie najmä kvôli chemickým látkam, ktoré obsahujú už od procesu výroby poprípade kvôli látkam, ktoré sa na ne absorbujú. Tieto chemické látky sa uvoľňujú buď do ekosystému v ktorom sa daný plast nachádza alebo priamo do tiel organizmov, ktoré plast požili. Požitie plastu je nebezpečné pre živočíchy i z mechanického hľadiska bez toho aby uvoľnili nejaké toxikanty. Pitvy živočíchov preukázali, že požitie väčšieho množstva plastov, ktoré si živočíchy mýlia za potravu, spôsobuje ich usmrtenie. Tento problém sa týka všetkých živočíchov bez ohľadu na ich veľkosť a taxonomické zaradenie.

Škodlivý vplyv plastov a mikroplastov bol preukázaný mnohými štúdiami využívajúce rôzne druhy ekotestov. Výsledky testov zameraných na rôzne druhy a veľkosti frakcie mikroplastov ukázali závažné poškodenie čreva, zvýšenú úmrtnosť a tiež pokles množstva vápnika v tele organizmov. V týchto testoch sa potvrdila aj teória, že miera dopadu negatívnych účinkov závisí od druhu organizmu, ktorý tento mikroplast požije, druhu mikroplastu a taktiež od veľkosti mikroplastu. Ako ukázali ďalšie štúdie plasty predstavujú nebezpečenstvo nie len pri požití ale i uvoľňovaním chemických látok do prostredia. Na zistenie mieri dopadu vyluhovaných chemických látok sa použili mnohé organizmy, medzi ktoré patria aj embryá ježoviek a larvy hnedých mušlí. A opäť bol potvrdený negatívny vplyv plastov na vývoj a produkciu embryí a lariev testovaných živočíchov.

Ovplyvnenie pôdných ekosystémov plastmi bol taktiež vyšetrovaný a ukázalo sa, že výsledky boli podobné ako u ekotestov vodných systémov. Mikroplasty svojou prítomnosťou v pôde spôsobujú inhibíciu rastu koreňových systémov niektorých rastlín. Spôsobujú zvýšenie mortality a zároveň zhoršujú kvalitu života dážďoviek. U chvostoskokov bol preukázaný negatívny vplyv na črevnú mikroflóru organizmov použitých v testoch toxicity.

Pre veľké množstvo plastového odpadu a jeho potvrdeným škodlivým vplyvom na všetky zložky životného prostredia sa začali skúmať rôzne cesty ako tento odpad obmedziť. Jedným z možných spôsobov je recyklácia. Ďalším spôsobom, ktorý sa dostáva do popredia je výroba bioplastov a plastov podliehajúcich biologickej degradácii. Práva biodegradácia by mohla byť vhodným riešením a však nesmú pri nej chýbať ekotoxikologické testy, ktoré umožňujú objektívne posúdiť všetky dôsledky, pre daný ekosystém. Tieto testy sú nevyhnutné a to z jednoduchého dôvodu. To, že sa plasty rozložia ešte neznamena, že produkty rozkladného procesu nebudú negatívne vplývať na životné prostredie. Nutnosť týchto testov sa preukázala i v štúdií, ktorá prebehla v Carnotovom inštitúte. Tam zistili, že rozklad bioplastov negatívne ovplyvňuje nitrifikačnú a mikrobiálnu aktivitu v pôdnom ekosystéme a tým vyvrátili teóriu, ktorá tvrdila, že rozklad bioplastov bude pre pôdne ekosystémy prospešný.

Pre čo najobjektívnejšie hodnotenie dopadu chemických látok na jednotlivé zložky ekosystému je potrebné využiť čo najviac druhov organizmov z každej trofickej úrovne ekosystému a rovnako do batérie testov je nutné začleniť nie len akútne, ale aj testy chronické.

5 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*[online]. 2017, **3**(7) [cit. 2018-05-06]. DOI: 10.1126/sciadv.1700782. Dostupné z: <http://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782>
- [2] *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. Volume 233. Switzerland: Springer International Publishing, 2015. ISBN 978-3-319-36289-2.
- [3] HELMENSTINE PH.D., Anne Marie. What Is Plastic? - Definition in Chemistry [online]. 8.3.2017 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <https://www.thoughtco.com/plastic-chemical-composition-608930>
- [4] Lifecycle of a plastic product. American Chemistry Council [online]. [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <https://plastics.americanchemistry.com/Life-Cycle/>
- [5] Alexander Parkes. : The Robinson Library [online]. 2017 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <http://www.robinsonlibrary.com/technology/technology/biography/parkes.htm>
- [6] BRYDSON, John. *Plastics Materials*. Seventh. Wobrn: Linacre House, Jordan Hill, Oxford, 1966. ISBN 0750641320.
- [7] Leo Hendrik Baekeland. Science History Institute [online]. 2017 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <https://www.sciencehistory.org/historical-profile/leo-hendrik-baekeland>
- [8] 100th Anniversary of the First PVC Patent. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim [online]. 2013 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: http://www.chemistryviews.org/details/ezone/4899111/100th_Anniversary_of_the_First_PVC_Patent.html
- [9] BRYDSON, John. *Plastics Materials*. Seventh. Wobrn: Linacre House, Jordan Hill, Oxford, 1966. ISBN 0750641320.
- [10] ŠVORČÍK, V. *Polymery stručně* [online]. In: . s. 28 [cit. 2018-04-11]. DOI: <http://docplayer.cz/4894705-V-svorcik-polymery-polymery-strucne.html>
- [11] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Druhé vydání. Praha, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [12] PROKOPOVÁ, Irena. *Makromolekulární chemie*. 2. vydání. VŠCHT Praha, 2007. ISBN 978-80-7080-662-3.
- [13] *Co jsou to polyuretany – PUR?* [online]. 2014 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: http://wiki.ekoporadna.cz/index.php?title=Co_jsou_to_polyuretany_-_PUR%3F
- [14] MULDER, Karel F. Sustainable Consumption and Production of Plastics?. *Technological Forecasting and Social Change* [online]. 1998, 1-2(58) [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0040162597001297>
- [15] *AIR QUALITY IN EUROPE: Problémy životního prostředí* [online]. [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: https://www.airqualitynow.eu/cz/pollution_environmental_problems.php
- [16] Applications and societal benefits of plastics. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. [online]. 2009, **364**(1526), 1977-84 [cit. 2018-04-11]. DOI: 10.1098/rstb.2008.0304. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2873019/#RSTB20080304C37>
- [17] *Handbook for the Chemical Analysis of Plastic and Polymer Additives*. Second edition. New York: CRC Press, 2015. ISBN 9781439860748.

- [18] *Environmental contamination with phthalates and its impact on living organisms* [online]. 2016, **23**(2) [cit. 2018-04-11]. DOI: <https://doi.org/10.1515/eces-2016-0024>. Dostupné z: <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/eces.2016.23.issue-2/eces-2016-0024/eces-2016-0024.pdf>
- [19] Bezpečnostní list. *Google* [online]. 2017 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: https://www.carlroth.com/downloads/sdb/cs/9/SDB_9709_CZ_CS.pdf
- [20] A Risk-Management Strategy for PCB-Contaminated Sediments. 2101 Constitution Ave., NW Box 285 Washington, DC: Washington metropolitan area, 2001. ISBN 0-309-07321-9.
- [21] Chemical structure of PCBs. The possible positions of chlorine atoms on the benzene rings are denoted by numbers assigned to the carbon atoms.[online]. In: . [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Polychlorinated_biphenyl
- [22] Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* [online]. 2015, **347**(6223), 768-771 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://science.sciencemag.org/content/347/6223/768>
- [23] Integrated Plastic Waste Management: Environmental and Improved Health Approaches. *Procedia Environmental Sciences* [online]. **35** [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029616301578>
- [24] Environmental evaluation of plastic waste management scenarios. Resources, Conservation and Recycling [online]. 2014, (85), 11 [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0921344913002784>
- [25] Plastics recycling: challenges and opportunities. *&the Royal Society* [online]. 2009 [cit. 2018-04-12]. DOI: 10.1098/rstb.2008.0311. Dostupné z: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/364/1526/2115>
- [26] Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. Waste Management [online]. 2009, 10(29) [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X09002190?via%3Dihub>
- [27] Toxic Pollutants from Plastic Waste. *Procedia Environmental Sciences* [online]. 2016, **35**, 701-708 [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187802961630158>
- [28] Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*[online]. 2011, **62**(8), 1596-1605 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X11003055>
- [29] Microplastic pollution in deep-sea sediments. *Environmental Pollution*[online]. 2013, **182**, 495-499 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749113004387>
- [30] Plastic, the Great Pacific Garbage Patch, and International Misfires at a Cure. *UCLA Journal of Environmental Law and Policy* [online]. 2011, 2(29) [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <https://escholarship.org/uc/item/4pp84809>
- [31] Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research* [online]. 2015, (75), 20 [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135415000858#bib18>
- [32] Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* [online]. 2015, **347**(6223), 768-771 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://science.sciencemag.org/content/347/6223/768.full>

- [33] The behaviors of microplastics in the marine environment. *Marine Environmental Research* [online]. 2016, **113**, 7-17 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141113615300659>
- [34] Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research* [online]. 2015, (75), 20 [cit.2018-03-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135415000858#bib18>
- [35] Microplastics in fresh water resources. *Google* [online]. Australia, 2015 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: https://www.frogn.kommune.no/contentassets/054b969079034ee7813a163aad2f6259/151103_storck-et-al.-2015-gwrc-science-brief-microplastics-september-20152.pdf
- [36] Review of emerging organic contaminants in biosolids and assessment of international research priorities for the agricultural use of biosolids. *Environment International* [online]. 2011, **37**(1), 226-247 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412010001224?via%3Dihub>
- [37] Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Global Change Biology* [online]. 2017, **24**(4), 1405-1416 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.14020>
- [38] Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. *The Royal Society* [online]. 2009 [cit. 2018-05-06]. DOI: 10.1098/rstb.2008.0289. Dostupné z: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/364/1526/2127#ref-26>
- [39] Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management* [online]. 2017, (59), 526-536 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1630561X>
- [40] Bioplastics and Petroleum-based Plastics: Strengths and Weaknesses. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* [online]. 2011, **33**(21), 1949-1959 [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15567030903436830?scroll=top&needAccess=true>
- [41] Environmental analysis of plastic production processes: Comparing petroleum-based polypropylene and polyethylene with biologically-based poly- β -hydroxybutyric acid using life cycle analysis. *Journal of Biotechnology* [online]. 2007, **130**(1), 57-66 [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0168165607001514>
- [42] Comparison of the degradability of poly(lactide) packages in composting and ambient exposure conditions. *Packaging Technology and Science* [online]. 2006, **20**(1) [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/pts.742>
- [43] Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management* [online]. 2017, **59**, 526-536 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1630561X>
- [44] Study of the biodisintegration of a bioplastic material waste. *Bioresource Technology* [online]. 2009, **100**(15), 3764-3768 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852408010249?via%3Dihub>

- [45] Biosynthesis of planet friendly bioplastics using renewable carbon source. *J Environ Health Sci Eng.* [online]. 2015 [cit. 2018-05-06]. DOI: 10.1186/s40201-015-0165-3. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25717378>
- [46] Selective degradation of biodegradable blends in simulated laboratory composting. *Polymer Degradation and Stability* [online]. 2015, 120, 435-442 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391015300525?via%3Dihub>
- [47] Degradation behaviour of poly(lactic acid) films and fibres in soil under Mediterranean field conditions and laboratory simulations testing. *Industrial Crops and Products* [online]. 2011, 33(3), 648-658 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669010003511?via%3Dihub>
- [48] Microbial degradation of polyhydroxyalkanoates in tropical soils. *International Biodeterioration & Biodegradation* [online]. 2013, 83, 77-84 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830513001790?via%3Dihub>
- [49] Biodegradation of polyhydroxyalkanoates (PHAs) in tropical coastal waters and identification of PHA-degrading bacteria. *Polymer Degradation and Stability* [online]. 2010, 95(12), 2350-2359 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391010003642?via%3Dihub>
- [50] *Fundamentals of Ecotoxicology: The Science of Pollution*, Fourth Edition. 4 edition. Florida: CRC Press, 2014. ISBN 1466582294
- [51] A coordinated set of ecosystem research platforms open to international research in ecotoxicology, AnaEE-France. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. 2015, 22(20), 16215-16228 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11356-015-5233-9>
- [52] *Ekotoxikologické biotesty*. Bratislava: Perfekt, 2009. ISBN 978-80-8046-422-6.
- [53] Microplastic particles cause intestinal damage and other adverse effects in zebrafish *Danio rerio* and nematode *Caenorhabditis elegans*. *Science of The Total Environment* [online]. 2018, (619-620), 1-8 [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717331613>
- [54] Size-Dependent Effects of Micro Polystyrene Particles in the Marine Copepod *Tigriopus japonicus*. *Environ. Sci. Technol* [online]. 2013, 47(19), 11278-11283 [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es401932b>
- [55] The Impact of Polystyrene Microplastics on Feeding, Function and Fecundity in the Marine Copepod *Calanus helgolandicus*. *Environ. Sci. Technol.* [online]. 2015, 49(2), 1130-1137 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es504525u>
- [56] Assessment of microplastic toxicity to embryonic development of the sea urchin *Lytechinus variegatus* (Echinodermata: Echinoidea). *Marine Pollution Bulletin* [online]. 2015, 92(1-2), 99-104 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X15000107>
- [57] Leachate from microplastics impairs larval development in brown mussels. *Water Research* [online]. 2016, 106, 364-370 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135416307667#bib35>

- [58] Microplastics in the Terrestrial Ecosystem: Implications for *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta, Lumbricidae). *Environ. Sci. Technol.* [online]. 2016, 50(5), 2685-2691 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.5b05478>
- [59] Exposure of soil collembolans to microplastics perturbs their gut microbiota and alters their isotopic composition. *Soil Biology and Biochemistry* [online]. 2018, (116), 302-310 [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071717306296?via%3Dihub>
- [60] An in vitro crop plant ecotoxicity test for agricultural bioplastic constituents. *Polymer Degradation and Stability* [online]. 2014, (108), 250-256 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014139101400130X>
- [61] Impact of the degradation of plastics called "biodegradable" on soil ecology, by monitoring of Nitrifying Activity and Respirometry. *RITTMO Agroenvironnement* [online]. 2011, , 1-2 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: http://www.rittmo.com/IMG/pdf/resume_ThierryPlumere_EdouardEscot.pdf
- [62] Sbírka zákonů ČR. *Google* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/sbirka>
- [63] HŘIBOVÁ, Šárka. *Využití alternativních testů ekotoxicity pro posouzení kontaminovaných environmentálních matric* [online]. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta chemická, 2011 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/17255>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta chemická. Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí. Vedoucí práce Helena Zlámalová Gargošová.
- [64] *Danio rerio* as a model in aquatic toxicology and sediment research. *Download PDF Environmental Science and Pollution Research* [online]. 2015, 22(21), 16243-16246 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-015-5362-1>
- [65] Frequency of Microplastics in Mesopelagic Fishes from the Northwest Atlantic. *Marine Pollution* [online]. 2018, 5 [cit. 2018-05-20]. DOI: 10.3389/fmars.2018.00039. Dostupné z: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2018.00039/full>
- [66] Hodnocení zátěže lesních půd pomocí ekotoxikologických testů s půdními bezobratlými živočichy. Brno, 2015. Rigorózní práce. Masarykova Univerzita.

6 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

CA: acetát celulózy

ČOV: čistiareň odpadových vôd

DDTs: dichlordifenyltrichlóretán

EPS: rozpínavý polystyrén

HDPE: polyetylén s vysokou hustotou

LCA: analýza životného cyklu

LDPE: polyetylén s nízkou hustotou

PA: polyamid

PAE: estery kyseliny ftalatovej

PAHs, PAUs: polycyklické aromatické uhľovodíky

PBAT: polybutylén adipáttereftalát

PCBs: polychlorované bifenyly

PCDFs: polychlorované dibenzofurany

PCDDs: polychlorované dibenzodioxiny

PET, PETE: polyetylénteraftalát

PES: polyesterové vlákna

PHB: polyhydroxybutyrát

PLA: kyselina polymliečna

PMMA: polymetylmetakrylát

PP: polypropylén

PPO: pevný plastový odpad

PS: polystyrén

PUR: polyuretán

PVC: polyvinylchlorid

VOCs: prchavé organické látky